



**UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA**



**PRIMJENA MULTIKRITERIJUMSKE ANALIZE U
PROCESIMA PLANIRANJA I RADA MALIH
HIDROELEKTRANA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

mr Budimirka Marinović

Novi Sad, 2016. godine



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:			
Идентификациони број, ИБР:			
Тип документације, ТД:	Монографска документација		
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал		
Врста рада, ВР:	Докторска дисертација		
Аутор, АУ:	Мр Будимирка Мариновић		
Ментор, МН:	Доц. др Бранка Гвозденац - Урошевић		
Наслов рада, НР:	Примјена мултикритеријумске анализе у процесима планирања и рада малих хидроелектрана		
Језик публикације, ЈП:	Српски језик		
Језик извода, ЈИ:	Српски/Енглески		
Земља публиковања, ЗП:	Република Србија		
Уже географско подручје, УГП:	АП Војводина, Нови Сад		
Година, ГО:	2016. година		
Издавач, ИЗ:	Факултет техничких наука		
Место и адреса, МА:	Трг Доситеја Обрадовића 6, 21 000 Нови Сад		
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	7/157/45/25/41/5/2		
Научна област, НО:	Машинско инжењерство		
и/Научна дисциплина, НД:	Енергетика		
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	Мале хидроелектране, мултикритеријумска анализа, одрживи развој, модел у процесима планирања		
УДК			
Чува се, ЧУ:	Библиотека ФТН-а		
Важна напомена, ВН:			
Извод, ИЗ:	Пројекти малих хидроелектрана, као чистих извора енергије, треба да допринесу економском развоју и развоју друштва у цјелини кроз одржив развој, тако да је процесу планирања пројеката малих хидроелектрана потребно приступити с посебном пажњом. Резултати овог истраживања су показали да ефективно и ефикасно управљање процесом планирања малих хидроелектрана доприноси остварењу стратешких циљева управљања енергетским системом.		
Датум прихватања теме, ДП:			
Датум одбране, ДО:			
Чланови комисије, КО:	Председник:	Др Срђан Колаковић, ред. проф., ФТН Нови Сад	Потпис ментора
	Члан:	Др Младен Стојиљковић, ред. проф., Машински Факултет Ниш	
	Члан:	Др Душан Јокановић, ван. проф., ФПМ Требиње	
	Члан:	Др Душан Гвозденац, ред. проф., ФТН Нови Сад	
	Члан:	Др Бојан Лалић, доц., ФТН Нови Сад	
	Члан, ментор:	Др Бранка Гвозденац Урошевић, доц., ФТН Нови Сад	



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic publication
Type of record, TR :	Textual printed document
Contents code, CC :	Doctoral dissertation
Author, AU :	Budimirka Marinović, MSc
Mentor, MN :	Branka Urošević Gvozdenac, PhD
Title, TI :	Application of Multicriteria Decision Analysis in Planning and Operation of Small Hydropower Plants
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	Serbian/English
Country of publication, CP :	Republic of Serbia
Locality of publication, LP :	AP Vojvodina, Novi Sad
Publication year, PY :	2016.
Publisher, PB :	Faculty of Tehnical Sciences
Publication place, PP :	Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad
Physical description, PD : <small>(chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)</small>	7/157/45/25/41/5/2
Scientific field, SF :	Mechanical Engineering
Scientific discipline, SD :	Energy Engineering
Subject/Key words, S/KW :	Small hydropower plant, multicriteria analysis, sustainable development, energy planning model
UC	
Holding data, HD :	Library of the Faculty of Tehnical Science in Novi Sad, Trg Dositeja Obradovica 7
Note, N :	
Abstract, AB :	The projects concerned with small hydropower plants, which are considered as a clean energy source, are expected to contribute to the economic aspect of sustainable development of society as a whole. Therefore, the planning process of these projects calls for particular attention. The results of the research reveal that effective and efficient management of the planning process of small hydropower plants contributes to the realization of strategic goals set within energy system management.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	President: Prof. Srđan Kolaković, PhD, FTN Novi Sad
	Member: Prof. Mladen Stojiljković, PhD, Faculty of Mechanical Engineering, Nis
	Member: Prof. Dušan Jokanović, PhD, FPM Trebinje
	Member: Prof. Dušan Gvozdenac, PhD, FTN Novi Sad
	Member: Prof. Bojan Lalić, PhD, FTN Novi Sad
	Member, Mentor: Prof. Branka Urošević Gvozdenac, PhD, FTN Novi
	Mentor's sign

Sadržaj

Indeks tabela	iii
Indeks slika i šematskih prikaza	v
1. Uvodne napomene	1
1.1. Predmet i problem istraživanja.....	1
1.2. Cilj istraživanja	4
1.3. Hipoteze istraživanja.....	5
1.4. Primjenjena metodologija istraživanja.....	5
1.5. Ostvareni rezultati i njihova primjenljivost	5
1.6. Kratak sadržaj rada.....	6
2. Male hidroelektrane i njihova integracija u elektrodistributivni sistem.....	8
2.1. Korištenje vodnog potencijala	13
2.1.1. Energija vode (hidroenergija)	14
2.1.2. Energija vode u hidrauličnim mašinama.....	16
2.1.3. Gubici u transformaciji energije	16
2.2. Polazne osnove za izgradnju malih hidroelektrana	17
2.3. Hidrološka analiza	20
2.3.1. Određivanje srednjeg višegodišnje proticaja	21
2.3.2. Kriva trajanja protoka	22
2.3.3. Bruto energetske potencijal vodotoka.....	24
2.4. Metodologija planiranja malih hidroelektrana	24
2.4.1. Osnovi pojmovi energetskog planiranja.....	24
2.4.2. Problemi energetskog planiranja	26
2.4.3. Donošenje odluka u procesu planiranja	28
2.4.4. Izgradnja malih hidroelektrana	30
3. Multikriterijumsko odlučivanje.....	32
3.1. Pregled literature	32
3.2. Opšti dio.....	34
3.2.1. Problem odlučivanja	34
3.2.2. Matematičko modeliranje	35
3.3. Osnovni pojmovi multikriterijumskog odlučivanja.....	37
3.3.1. Alternative	38
3.3.2. Kriterijumi	39

3.3.3. Određivanje težinskih faktora	42
3.3.3.1. Metode jednakih težina (Equal weights method)	43
3.3.3.2. Metode rangiranja.....	43
3.4. Metode multikriterijumskog odlučivanja	47
3.4.1. PROMETHEE metoda.....	49
4. Model multikriterijumskog odlučivanja u procesima planiranja i rada malih hidroelektrana	55
4.1. Izbor kriterijuma i alternativa	62
4.2. Određivanje težinskih faktora.....	71
4.3. Određivanje funkcije preferencije.....	81
4.3. Analiza modela odlučivanja	82
4.3.1. GAIA ravan.....	83
4.3.2. Promethee osa za donošenje odluka	85
5. Primjena modela multikriterijalnog odlučivanja u procesima planiranja i rada malih hidroelektrana u analiziranom regionu	87
5.1. Određivanje skupa alternativnih rješenja	89
5.1.1. Geografski uslovi analiziranog područja u pogledu korištenja hidroenergije	93
5.1.1.1. Hidrografska mreža rijeke Vrbas.....	95
5.1.1.2. Geomorfološke karakteristike Vrbasa	96
5.1.1.3. Geološki i hidrološki uslovi sliva Vrbasa	97
5.1.1.4. Hidropotencijal rijeke Vrbas	97
5.1.2. Socio-ekonomske karakteristike analiziranog područja.....	98
5.1.3. Identifikacija alternativnih lokacija za analizu	98
5.2. Određivanje kriterijuma	101
5.3. Analiza dobijenih rezultata	107
5.3.1. GAIA ravan.....	109
5.3.2. Preference Flows	111
5.3.3. Intervali stabilnosti.....	119
5.3.4. Smjernice za dalji razvoj projekata malih hidroelektrana.....	123
6. Završne napomene i zaključci	125
Literatura	128
Prilozi	142

Indeks tabela

Tabela 2.1.	Gornje granice proizvodnih kapaciteta male hidroelektrane u nekim zemljama.....	9
Tabela 2.2.	Podjela malih hidroelektrana po raspoloživom padu i snazi	10
Tabela 2.1.	Trend u planiranju hidroenergetskih projekata (Balat, 2006).....	29
Tabela 3.1.	Pregled najčešće korištenih metoda za određivanje težina koeficijenata u sistemima korištenja obnovljivih izvora energije (Wang J. et al., 2009)	43
Tabela 3.2.	Satijeva skala	45
Tabela 3.3.	Pregled MCDA metoda (Velasquez M, Hester P, 2013).....	48
Tabela 4.1.	Pregled kriterijuma u sistemima korištenja multikriterijumske analize u energetske sistemima (Wang J. et al., 2009)	64
Tabela 4.2.	Vrednovanje kriterijuma zakonska ograničenja	67
Tabela 4.3.	Vrednovanje kriterijuma način obezbjeđenja protoka (Supriyasilp et al., 2009)	68
Tabela 4.4.	Vrednovanje kriterijuma uticaj na ekosistem	68
Tabela 4.5.	Vrednovanje kriterijuma način obezbjeđenja protoka (Supriyasilp et al., 2009)	69
Tabela 4.6.	Pregled kriterijuma za proces planiranja i rada malih hidroelektrana	69
Tabela 4.7.	Težine kriterijuma dodjeljene od strane ispitanika	74
Tabela 4.8.	Operativni zahtjevi za odabir metode multikriterijumske analize.....	77
Tabela 4.9.	Pregled najčešće korištenih metoda multikriterijumske analize primjenjen na probleme obnovljivih izvora energije, (izvor: Wang J. et al., 2009)	78
Tabela 5.1.	Tehnički iskoristiv hidro potencijal u Republici Srpskoj (GWh/g)	90
Tabela 5.2.	Ciljni udio energije iz obnovljivih izvora energije na Zapadnom Balkanu	91
Tabela 5.1.	Glavni parametri predloženih opcija malih hidroelektrana po rijekama.....	99
Tabela 5.2.	Predviđena godišnja proizvodnja analiziranih lokacija.....	102

Tabela 5.3.	Procjena broja pogođenih domaćinstava i stanovnika.....	104
Tabela 5.3.	Legenda kriterijuma sigurnost ivnesticije	106
Tabela 5.4.	Unicriterion i Multicriteria Preference Flows za sva četiri scenarija	114
Tabela 5.5.	Intervali stabilnosti za pojedine kriterijume, za težine dodjeljene od strane države	120
Tabela 5.6.	Intervali stabilnosti za pojedine kriterijume, za težine dodjeljene od akademskih institucija	120
Tabela 5.7.	Intervali stabilnosti za pojedine kriterijume, za težine dodjeljene od strane ivnestitora	121
Tabela 5.8.	Intervali stabilnosti za pojedine kriterijume, za težine dodjeljene od strane organizacija za zaštitu životne sredine	122

Indeks slika i šematskih prikaza

Slika 2.1.	Šema male hidroelektrane	10
Slika 2.2.	Tok na dionici dužine l.....	10
Slika 2.3.	Koraci za identifikaciju pogodnih profila za energetska iskorištavanje raspoloživih vodotoka	17
Slika 2.5	Prosječna višegodišnja kriva trajanja dnevnih protoka, Rijeka Studena, profil B3-4	22
Slika 2.7.	Klasifikacija metoda za podršku odlučivanju.....	28
Slika 3.1.	Faze u procesu donošenja odluka	35
Slika 3.2.	Međusobni odnosi činilaca sistema	37
Slika 3.3.	Postupak definisanja alternativa	39
Slika 3.4.	Opšti hijerarhijski model AHP	45
Slika 3.5.	Grafik funkcije običnog kriterijuma	50
Slika 3.6.	Grafik funkcije kvazi kriterijumima.....	51
Slika 3.7.	Grafik funkcije sa linearnom preferencijom.....	51
Slika 3.8.	Grafik funkcije sa nivoima konstantne preferencije.....	52
Slika 3.9.	Grafik funkcije kriterijuma sa linearnom preferencijom i područjem indiferencije	52
Slika 3.10.	Grafik funkcije Gausovog kriterijuma	53
Slika 3.11.	Tokovi Promethee metode.....	54
Slika 4.1.	Hijerarhija ciljeva.....	56
Slika 4.2.	Održivost sistema obnovljivih izvora energije	56
Slika 4.3.	Obnovljivi izvori energije i proces donošenja odluka.....	58
Slika 4.5.	Dijagram UZROCI - POSLJEDICE za izbor male hidroelektrane	63
Slika 4.7.	AHP metoda	73
Grafikon 4.9.	Uporedni prikaz ocjena akademskih institucija za pojedine kriterijume	75
Grafikon 4.10.	Uporedni prikaz ocjena investitora za pojedine kriterijume	76
Grafikon 4.11.	Uporedni prikaz ocjena organizacija za zaštitu životne sredine za pojedine kriterijume	76
Slika 4.12.	Promethee metoda za proces planiranja i rada malih hidroelektrana .	80

Slika 4.13.	Alternative i kriterijumi u GAIA ravni	85
Slika 5.2.	Slivna područja u Republici Srpskoj.....	89
Slika 5.3.	Položaj sliva Vrbasa u BiH.....	93
Slika 5.4.	Lokacija većih naselja u slivu rijeke Vrbas.....	94
Slika 5.6.	Rangiranje rijeka sliva Vrbasa na osnovu prosječnog energetskog potencijala	98
Slika 5.7.	Izgrađena MHE 2 u gornjem toku Vrbasa.....	99
Slika 5.8.	Lokacija hidroelektrane Jovići i Glavica (karta 1:25 000).....	100
Slika 5.9.	Lokacija hidroelektrane Duljci (karta 1:25 000).....	101
Slika 5.11.	Karta elektroenergetskog sistema Bosne i Hercegovine sa operativnim područjima “Elektroprijenosa BiH” i područjima elektroprivreda (decembar 2013. godine).....	105
Slika 5.12.	Prikaz ulaznih podataka.....	108
Slika 5.13.	GAIA ravan za težine kriterijuma dodijeljene od strane investitora	109
Slika 5.14.	Pozitivni i negativni tokovi alternativa	112
Slika 5.15.	Konačan rang alternativa za različite scenarije.....	116
Slika 5.16.	Satelitski snimak šeme hidroelektrane Podmilačje	118
Slika 5.17.	Lokacija planirane hidroelektrane Glavica	118
Slika 5.18.	Interval stabilnosti za kriterijum instalisana snaga, težine kriterijuma dodjeljene od strane investitora.....	119

*„Realizacija malih hidroelektrana nije mali zahvat u Prirodi, kao što mnogi neupućeni površno procjenjuju...
Tim objektima se zadire u najfinije tkivo Prirode, u njene najvitalnije hidrografske, ekološke kapilare, pa i odluka o građenju mora da bude i oprezna i smisljena, zasnovana na validnim podlogama, i sa svim mjerama valjanog uklanjanja u okruženje“*

Sekulić, Đorđević

1. Uvodne napomene

1.1 Predmet i problem istraživanja

Imajući u vidu privredni razvoj danas i ono što očekujemo u budućnosti nemoguće ga je zamisliti bez ogromne količine energije. Iako fosilna goriva i neobnovljivi izvori energije danas pokrivaju ogromnu većinu svjetskih potreba za energijom njihov udio će se u budućnosti znatno smanjiti.

Razlog za to leži kako u ograničenosti neobnovljivih izvora energije, tako i u sve izraženijem negativnom efektu neobnovljivih izvora enerije na globalne klimatske promjene zbog djelovanja efekta gasova staklene bašte (Sekulić i Đorđević, 2014).

I zemlje u razvoju kao i manje razvijene zemlje su prepoznale potencijal obnovljivih izvora energije s obzirom na štetne uticaje korištenja neobnovljivih izvora energije, ali i zbog razvoja tehnologije koja je u mogućnosti da odgovori na probleme vezane za energetska sigurnost, te pristup energiji. Naime postaje jasno da je budući rast u energetskom sektoru prvenstveno zasnovan na režimu korištenja obnovljivih izvora energije na ne na konvencionalnim izvorima energije. U skladu sa navedenim i finansijska tržišta se okreću potencijalu korištenja obnovljivih izvora energije i novih energetskih tehnologija, a to je najava ekonomski konkurentnih obnovljivih izvora energije.

Ne treba zaboraviti činjenicu da su, kao i u svijetu, i kod nas doneseni zakoni o zaštiti životne sredine, kojima se propisuje obaveza izrade studije uticaja na životnu sredinu za sve izvore energije, a sve u cilju identifikacije problema i uspostavljanja mjera za upravljanje životnom sredinom, kao i iznalaženje novih načina za ublažavanje i kompenzaciju negativnih uticaja na životnu sredinu. To je razlog da je i većina zemalja u svoju razvojnu politiku uključila različite podsticaje za razvoj obnovljivih izvora energije.

Energija je bitan faktor ukupnog napora u cilju postizanja održivog razvoja. U tom cilju se traži da se na nacionalnom i globalnom nivou preispituju energetska sistema, a sve u cilju stvaranja strategije u skladu sa ciljevima i zadacima održivog razvoja.

Elektroenergetski sistem je kompleksan sistem sastavljen od velikog broja međusobno zavisnih elemenata čije uzajamno djelovanje je evidentno od proizvodnje do distribucije dobijene energije. Stoga, održiv razvoj jednog takvog sistema podrazumijeva povezivanje velikog broja različitih, često konfliktnih, parametara. U tom smislu, planiranje energetskeg sistema i njegovo funkcionisanje podrazumijeva sistemski, multidisciplinarni pristup, koji treba da sadrži više različitih aspekata: tehnički, ekonomski, socijalni, a u posljednje vrijeme se poseban naglasak stavlja na aspekt zaštite životne sredine.

Znači, politički, društveni, ekonomski i ekološki značaj energetskeg planiranja ima za cilj da zadovolji sve veću potražnju za adekvatnim izvorom energije, tako da je izbor odgovarajućih energetskeg projekata veliki izazov za kreatore politike.

Jedan od obnovljivih izvora energije je i energija vode, odnosno energija dobijena u malim hidroelektranama. Iako se projekti razvoja malih hidroelektrana načelno mogu smatrati prihvatljivim: "projekti malih hidroelektrana se pojavljuju kao rješenje za održiv, zelen, ekološki prihvatljiv i dugoročno isplativ izvor energije" postoji i shvatanje da je potrebno da se ovi projekti "objektivnije sagledaju kroz prizmu njihove efektivnosti, kao i sa stanovišta uticaja na okruženje" (Sekulić i Đorđević, 2014).

Prema tome, kada se govori o mogućnostima izgradnje malih hidroelektrana, potrebno je naglasiti da dosadašnji pristup, kojim je potencijal malih hidroelektrana načelno prezentovan vrijednošću tehnički iskoristivog potencijala, nije primjeren savremenim shvatanjima, naročito imajući u vidu visoko razvijenu ekološku svijest ljudi, te već usvojene principe održivog razvoja. Naime, prije nekoliko desetina godina, kad, s jedne strane, ekologija kao nauka nije imala težinu prilikom realizacije velike većine građevinskih projekata, a s druge strane, mišljenja lokalne zajednice nisu značajnije uzimana u obzir, ono što je smatrano tehnički iskoristivim potencijalom u načelu je prihvatano za njegovu realizaciju, naravno, uzimajući u obzir ekonomsku isplativost pojedinog projekta.

U današnje vrijeme, prilikom planiranja gradnje i samog procesa građenja, investitori se susreću sa znatno većim brojem ograničenja, koja u velikom broju slučajeva limitiraju inicijalno definisan tehnički iskoristiv potencijal na neke manje iznose, a u određenom broju slučajeva i potpuno onemogućuju bilo kakve zahvate u prostoru.

U cilju usmjeravanja budućih investicija neophodno je da se razumiju uticaji projektovanih sistema na životnu sredinu, sa fokusom na pojam održivih sistema. Naime potrebno je identifikovati sve ključne pokazatelje uticaja kako bi se mogli na najbolji mogući način kvantifikovati svi uticaji. Pokazatelje je potrebno identifikovati na osnovu ekoloških i društvenih uticaja, efekata staklene bašte, dostupnosti obnovljivih izvora energije i vrijednosti koju oni daju privedi (Evans et al., 2009).

Uvažavajući sve prethodno navedeno, potrebno je naglasak dati lokacijama s realno ostvarivim projektima, uvažavajući sva ograničenja i uslove koji proizilaze iz propisa, pravila struke, te javnog mišljenja – lokacijama koje predstavljaju realno iskoristivi potencijal.

Kod utvrđivanja redoslijeda izgradnje energetskih objekata koristi se određena metodologija, pri čemu se naglasak stavlja na energetske komponente i kvalitete objekta. S obzirom da je razvoj hidroenergetike dio dugoročnog razvoja, moguće je sa višenamjenskim rješenjima ostvariti mogućnost za razvoj vodoprivrednih djelatnosti (evakuacija suvišnih voda, obezbjeđenje vode za snabdijevanje stanovništva i industrije, navodnjavanje i dr.). Takva rješenja mogu sa sobom da povuku i ubrzaniji privredni razvoj nekih regiona (poljoprivreda, prateća industrija ili prerada, zapošljavanje, urbani razvoj i sl.). Ovo dovodi do zaključka da je prilikom utvrđivanja redoslijeda izgradnje hidroenergetskih projekata, pored energetskih kvaliteta potrebno preciznije i kvalitetnije valorizovati i ostale efekte, što nekim objektima može dati i drugačiju poziciju na listi prioriteta izgradnje.

Kada se radi o izgradnji energetskih objekata, do sada se uglavnom koristila metodologija zasnovana na energetskej komponenti. Međutim, ovaj proces je mnogo složeniji i trebao bi da obuhvati više različitih parametara, među kojima i ekonomski i ekološki aspekt, gubitke u prenosu i transformaciji energije, mogućnost priključenja na elektrodistributivnu mrežu, pristupačnost lokacije, unapređenje iskoristivosti rezervoara i sl. S obzirom na navedeno nameće se potreba za razvojem modela koji bi podrazumijevao multikriterijumski pristup za proces planiranja i rada malih hidroelektrana i njihovog integrisanja u elektroenergetski sistem određenog područja.

Supriyasilp et al., (2009) naglašavaju značaj hidroenergije i naglašavaju “da je hidroenergija prepoznata kao obnovljivi i čist izvor energije i njen potencijal treba da se iskoristi na ekološki prihvatljiv i ekonomski pravedan način”. *Mishra et al., (2012)* smatraju da male hidroelektrane, kao obnovljiv izvor energije, mogu generisati električnu energiju bez zagađenja životne sredine. S obzirom na povećanu potražnju za električnom energijom, važno je da se procijeni budući potencijal energije iz ovih izvora, kako bi se mogao planirati razvoj kroz mješavinu povećanja energije i zaštitu životne sredine.

U kontekstu navedenog, definiše se problem istraživanja: prilikom planiranja projekata malih hidroelektrana, potrebno je uzeti u obzir ekonomsku, ekološku i socijalnu komponentu planiranja čime bi se identifikovale, kako prednosti tako i nedostaci projekata malih hidroelektrana. Dakle, kompletan proces planiranja projekata malih hidroelektrana bi trebao da obuhvati:

- ◆ analizu područja koja su pogodna za razvoj projekata malih hidroelektrana i

- ◆ rangiranje projekata koje bi poslužilo kao polazna osnova za utvrđivanje lokacija i područja koja su najpogodnija za ekološki održiva i društveno prihvatljiva hidroenergetska potrojenja.

Iz problema istraživanja definiše se predmet istraživanja:

Predmet istraživanja je definisanje i formalizovanje modela za procese planiranja i rada malih hidroelektrana, zasnovanog na multikriterijumskoj analizi. Navedeni model bi bio u funkciji održivog razvoja. Ukoliko se održiv proces planiranja posmatra kao cilj potrebno je predložiti takav model koji bi u sebi sadržavao socijalnu i ekonomsku komponentu, ali i komponentu zaštite životne sredine, kako bi se unaprijedio ekonomski rast, zaštitila i očuvala životna sredina i unaprijedila socijalna i ljudska prava.

U cilju dostizanja održivog razvoja projekata malih hidroelektrana, potrebno je analizirati sve faktore koji utiču na drugorčni razvoj ovih projekata. Iz ovog je predložena i tema doktorske disertacije: *PRIMJENA MULTIKRITERIJUMSKE ANALIZE U PROCESIMA PLANIRANJA I RADA MALIH HIDROELEKTRANA* kao jedna od aktuelnih i podobnih tema za naučno istraživanje. Kroz temu se povezuju objekti istraživanja: multikriterijumska analiza, planiranje projekata malih hidroelektrana kao cilj i male hidroelektrane kao subjekt na kome će se primjenjivati dati model.

Ukoliko održiv razvoj posmatramo kao osnovni cilj društva u cjelini, potrebno je, izgraditi takav model planiranja i rada hidroenergetskog sistema, kako bi se postigao održiv razvoj energetskog sistema i društva.

Kroz temu rada se povezuju i objekti istraživanja: hidroenergetski objekti, odnosno objekti malih hidroelektrana, proces planiranja i rada hidroenergetskih objekata i multikriterijumska analiza kao osnovni alat kojim se dolazi do cilja istraživanja.

Definisani model predstavlja jedan od važnih koraka u procesu efikasnog korištenja energije.

1.2. Cilj istraživanja

Definisanjem predmeta i problema istraživanja, a u skladu sa postavljenom radnom hipotezom, definiše se potreba i ciljevi istraživanja: uvid u probleme procesa planiranja hidroenergetskih projekata i probleme efikasnog upravljanja energetskim sistemima; identifikovati glavne kriterijume koji utiču na proces planiranja malih hidroelektrana i utvrditi način njihovog vrednovanja; utvrditi potrebe svih učesnika u procesu planiranja i rada malih hidroelektrana; odrediti potencijalnu ulogu multikriterijumske analize u procesu odlučivanja kao podršci procesu planiranja i rada malih hidroelektrana.

Da bi se ostvario cilj istraživanja i dokazala postavljena hipoteza, potrebno je dati naučno utemeljene odgovore na pitanja poput: koju ulogu treba da imaju projekti malih hidroelektrana u budućnosti; koja je uloga zainteresovanih strana u procesu odlučivanja; na koji način će se mjeriti uspješnost pojedinih projekata i sl.

Iz navedenog proizilazi da se ciljevima istraživanja značajno doprinosi sticanju naučnih saznanja u datoj oblasti i unapređenju održivog privednog razvoja.

1.3. Hipoteze istraživanja

Osnovna hipoteza

H0: *Model zasnovan na multikriterijumskoj analizi je pogodan za procese planiranja i rada malih hidroelektrana.*

Da bi postavljena hipoteza bila u potpunosti dokazana u skladu sa postavljenim ciljevima, istraživanja potrebno je dokazivanje pomoćnih ili dopunskih hipoteza:

H1: *Primjenom multikriterijumske analize može se unaprijediti kvalitet donošenja odluka kroz izbor projekata koji povećavaju količinu proizvedene energije i imaju mali uticaj na društvo, biljni i životinjski svijet.*

H2: *Primjenom multikriterijumske analize moguće je unaprijediti kvalitet donošenja odluka kroz izbor onih projekata koji teže održanju prirodnog protoka.*

1.4. Primjenjena metodologija istraživanja

U radu su korištene naučne metode istraživanja i to: savremene metode multikriterijumskog odlučivanja, posebne metode analize i sinteze, uporedna (komparativna) analiza, metoda naučnog saznanja i opšte statističke metode kao i posebne metode apstrakcije i konkretizacije.

1.5. Ostvareni rezultati i njihova primjenjivost

Razvoj modela zasnovanog na multikriterijumskoj analizi doprinosi ostvarenju strateških ciljeva hidroenergetskih projekata te društvenoj i ekološkoj prihvatljivosti projekta. Primjenom datog modela omogućava se upravljanje svim aspektima vezanim za donošenje odluke (tehničkim, ekološkim, ekonomskim i socijalnim aspektima) što ima za cilj ostvarivanje održivog razvoja energetskog sistema. Na ovaj način se omogućava:

- ◆ identifikovanje svih uticajnih faktora na proces planiranja malih hidroelektrana;
- ◆ izbor projekata koji teže povećanju proizvodnje energije i

- ◆ odabir projekata koji istovremeno teže održanju prirodnog protoka, čime se smanjuje uticaj na životnu sredinu.

1.6. Kratak sadržaj rada

U uvodnom dijelu rada definisani su predmet i problem istraživanja, formulisan je cilj istraživanja, sa veoma sažetim pregledom teoretičara i postavljene hipoteze u radu. Navedene su i opšte i posebne metode koje su korištene u navedenom istraživanju. Na kraju poglavlja su sažeti osnovni rezultati istraživanja.

U drugom poglavlju rada sagledan je značaj malih hidroelektrana, kao obnovljivog izvora energije. Definisane su polazne osnove za izgradnju malih hidroelektrana, hidrološka analiza kao bitan preduslov za uspješne projekte malih hidroelektrana, kao i predstavljena je metodologija planiranja malih hidroelektrana i njihovog priključenja na elektrodistributivni sistem.

U trećem poglavlju, kao uvodu u konkretno istraživanje, dat je pregled multikriterijumske analize, osnovnih metoda multikriterijumske analize i njihovog značaja u procesima donošenja odluka, sa naglaskom primjene multikriterijumske analize u procesima planiranja energetske sistema. Poseban akcenat je dat najznačajnijim dijelovima multikriterijumske analize: kriterijumi, dodjeljivanje težinskih koeficijenata i pregled metoda multikriterijumske analize. U ovom dijelu je opisan je proces multikriterijumske analize, dat je pregled osnovnih metoda za dodjeljivanje težinskih koeficijenata i metoda koje se najčešće koriste u procesima multikriterijumske analize u energetske sistemima.

U četvrtom poglavlju predstavljen je model primjene multikriterijumske analize u procesima planiranja i rada malih hidroelektrana, pri čemu je, kao polazni koncept modela, korištena metodologija sinteze sastojaka odlučivanja data od strane *Kikera i drugih (2005)*. Definisani su osnovni kriterijumi u procesu planiranja i rada malih hidroelektrana i zainteresovane strane, čije je mišljenje potrebno uzeti u obzir prilikom procesa planiranja. U ovom poglavlju su, takođe, određene težine kriterijuma odlučivanja u procesu planiranja projekata malih hidroelektrana i razvijena je metodologija za vrednovanje kriterijuma kao osnovnih indikatora u procesu odlučivanja. Težine kriterijuma su dobijene analizom podataka dobijenih popunjavanjem upitnika kreiranog u svrhu navedenog istraživanja i popunjenog od strane predstavnika zainteresovanih strana (investitori, država, društvena zajednica i predstavnici organizacija za zaštitu životne sredine).

Peto poglavlje je empirijskog karaktera, primjer sliva rijeke Vrbas. Ovo poglavlje sadrži podatke o analiziranim lokacijama i kriterijumima po kojima su projekti vrednovani. Za obradu podataka korišten je softverski alat Visual Promethee. Rezultati dobijeni primjenjenom metodologijom su analizirani, i, na osnovu njih predstavljeni su rezultati i zaključci rada i potvrđene hipoteze u radu.

Šesto poglavlje čine zaključna razmatranja i pregled korišćene literature. Na kraju rada se nalazi dodatak sa priložima istraživanja.

2. Male hidroelektrane i njihova integracija u elektrodistributivni sistem

Energija je od suštinskog značaja za ekonomski i društveni razvoj i unapređenje kvaliteta života. Veći dio energije danas se u svijetu proizvodi i koristi na način koji nije mogao da se održi, ukoliko tehnologija proizvodnje ostaje ista i ukoliko se potrebe za količinom energije povećavaju.

Električna energija se izdvaja kao najplemenitiji vid energije koji može da zadovolji veći dio energetske potrebe u svijetu. Kao osnovne prednosti električne energije u odnosu na ostale energente se izdvajaju: mogućnost proizvodnje korištenjem svih vidova energije, od uglja, nafte i gasa do obnovljivih izvora energije, u raznovrsnosti korišćenja, ekološke čistoće korišćenja, razvoju automatizacije i kompjuterizacije te mogućnosti transporta na navelike udaljenosti. "Prema IEO 98 scenariju električna energija će nastaviti sa najbržim rastom u odnosu na druge energetske komponente. Između 1995. i 2020. godine očekuje se rast potrošnje od 12000TWh na 23000TWh. Rast potreba za električnom energijom u zemljama u razvoju će biti dvostruko veći nego u razvijenim zemljama sa agregiranom potrošnjom koja će se utrostručiti u period 1995. i 2020. godine" (Vujošević, 2005).

Potreba za kontrolom atmosfere emisije gasova staklene bašte i drugih gasova i materija će sve više morati da bude zasnovana na osnovu efikasnosti u proizvodnji energije, prenosa, distribucije i potrošnje energije. Isto tako, u narednim decenijama, globalna pitanja zaštite životne sredine mogu značajno uticati i na obrasc korišćenja energije. Pitanje zaštite životne sredine "podrazumijeva brigu, zaštitu i analize uticaja izgradnje raznih objekata, ne samo na biljni i životinjski svijet, već i na kompletnu životnu sredinu:

- ◆ na kulturno istorijske spomenike,
- ◆ na nivo podzemnih voda,
- ◆ na vizuelne efekte,
- ◆ na vlažnost vazduha,
- ◆ na indukovanu seizmičnost,
- ◆ na promjenu klime,
- ◆ na socijalne uticaje,
- ◆ na saobraćaj,
- ◆ na ekonomsko-politički razvoj regiona,
- ◆ na nivo buke,
- ◆ na zagađenje vazduha,

- ◆ na kvalitet voda i sl” (Stevović, 2006).

Ograničenosti konvencionalnih izvora energije podstakle su mnoge zemlje da bi razvijale različite načine za korištenje obnovljivih izvora energije, što vremenom postaje prioritet u odnosu na razvoj konvencionalnih izvora energije. Imajući u vidu nedostatke konvencionalnih izvora energije, u svijetu se sve odlučnije forsira zaokret u energetske politici, što vodi do većeg korištenja obnovljivih izvora energije. Ključni elementi u opredjeljenju na razvoj obnovljivih izvora energije su u tome da su ovi izvori energije kompatibilniji sa okolinom i da doprinose održivom razvoju, kao i činjenici da su u pravilu neiscrpnici izvori energije.

Iako je hidroenergija po svojoj definiciji obnovljiv izbor energije, ona ne zadovoljava u svim slučajevima sve aspekte značenja pojma “obnovljivi izvori”. Naime danas smo svjesni mnogih ekoloških nedostataka velikih hidroelektrana kao izvora energije. Velike hidroelektrane su iz razloga dugotrajnog zadržavanja vode sklone procesu eutrofikacije tako da negativno utiču na kvalitet vode, na temperaturu vode, na režim nanosa i na povećanje emisije ugljen-dioksida”.

O ekološkoj prihvatljivosti projekata malih hidroelektrana postoje dvije vrste vrednovanja:

- ◆ “male hidroelektrane su ekološki potpuno prihvatljive i nemaju nikakav negativan uticaj na životnu sredinu (Ramachandra, Reddy, Borota ...) i
- ◆ male hidroelektrane imaju neke negativne uticaje na životnu sredinu, ipak ti su uticaji zanemarljivi (Kosnik, Blanco,...)” (Abbasi T, Abbasi S, 2011).

Ne postoji međunarodno prihvaćena definicija malih hidroelektrana. Uglavnom se podjela zasniva na instaliranoj snazi koja je u većini zemalja prihvaćena na gornju granicu do 25 MW (tabela 2.1.).

Tabela 2.1. Gornje granice proizvodnih kapaciteta male hidroelektrane u nekim zemljama (Mihajlović, 1985)

Država	Gornja granica (MW)
Velika Britanija	<5
Portugal, Španija, Irska	<10
Švedska	<15
Australija	<20
Indija, Kina	<25
Novi Zeland, Filipini	<50

Prema snazi turbine, postoji podjela na mikro turbine snage do 100 kW, mini turbine snage do 1 MW i male ili srednje turbine snage do 10 MW.

Prema raspoloživom padu i snazi male hidroelektrane se dijele na mikro, mini i male, kako je predstavljeno u tabeli 2.2.

Tabela 2.2. Podjela malih hidroelektrana po raspoloživom padu i snazi (Milojević i dr., 2009)

Tip hidroelektrane	Snaga (kW)	Mali pad (m)	Srednji pad (m)	Veliki pad (m)
Mikro	Do 50	Do 15	15.50	Preko 50
Mini	500 - 500	Ispod 20	20-100	Preko 130
Male	500-10000	Ispod 25		Preko 130

Male hidroelektrane se mogu podijeliti i (Mihajlović, 1985):

a) prema zahvatu:

- na protočne - bez akumulacijskog bazena sa bočnim zahvatom iz glavnog vodotoka i
- na akumulacijske, s prirodnim ili vještačkim akumulacijskim bazenom (sa dnevnim, nedeljnim ili godišnjim izravnavanjem).

b) prema načinu regulisanja protoka:

- na hidroelektrane sa protokom koji se može podešavati - regulacija protoka na ulazu u turbinu (ručna ili automatska) i
- na hidroelektrane sa stalnim protokom.

c) prema povezanosti sa mrežom i načinom rada:

- na izolovane elektrane - samostalni rad,
- na elektrane vezane na mrežu - paralelni rad,
- na elektrane koji rade pod režimom on – off,
- na elektrane u kojima radi jedna, dvije ili više jedinica i
- na elektrane koje rade po potrebi.

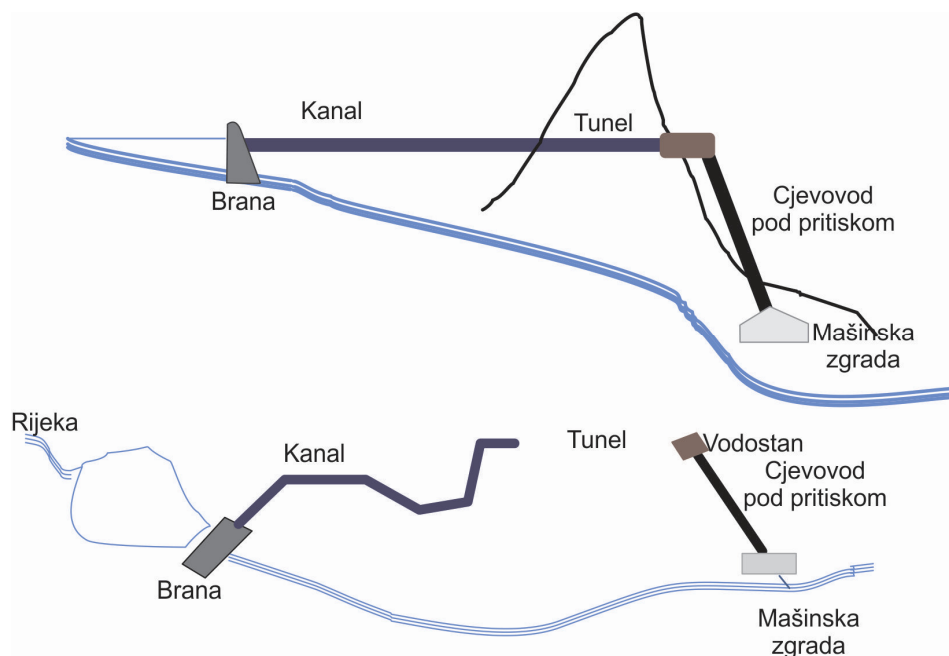
Da bi se hidroelektrana smatrala malom, treba da ima sljedeća svojstva:

- protočni rad ili jako mala akumulacija,
- potisni cjevovod manjih dimenzija (predviđen je da vodu najkraćim putem dovede do mašinske zgrade),
- mašinska zgrada manjih gabarita,

- odvodni kanal otvoren i kratak (njime se voda vraća iz mašinske zgrade u vodotok).

Dijelovi hidroelektrane se mogu podijeliti u tri osnovne grupe (slika 2.1):

- I. građevinski dijelovi koji obuhvataju branu, zahvat, dovodni kanal (derivacijski ili potisni cjevovodi, mašinsku zgradu i odvodni kanali);
- II. hidrotehnički dijelovi koji sadrže rešetke, pjeskolove, predturbinske zatvarače i izlazne dijelove turbine; te
- III. elektromašinski dijelovi sa turbinama, generatorom, transformatorom, regulacijskim dijelom, zaštitnim dijelovima i spojem na elektroenergetski sistem.



Slika 2.1. Šema male hidroelektrane

Razvoj projekata malih hidroelektrana predstavlja važnu komponentu unutar sistema iskorištavanja i upravljanja vodenim resursima.

Prednost malih hidroelektrana je u tome i što svojim radom ne uzrokuju emisiju štetnih gasova u okolinu, a nivo buke svodi se na najmanju moguću mjeru. Male hidroelektrane se svojim dizajnom mogu uklopiti u pejzaž, tako da se i vizuelni uticaji mogu svesti na najmanju moguću mjeru. Uopšteno se smatra da akumulacija koju koriste male hidroelektrane ne može bitno ugroziti geološke karakteristike zemljišta, za razliku od velikih akumulacija. Lokacije malih hidroelektrana su uglavnom u gornjim dijelovima vodotoka, što znači da se radi o nepristupačnim i slabo naseljenim područjima. To doprinosi poboljšanju naponskih prilika i povećanju pouzdanosti elektroenergetskog sistema.

Planiranje intenzivnijeg korištenja i izgradnje malih hidroelektrana je, prije svega, rezultat globalne tendencije korištenja energije iz obnovljivih izvora i otvaranja mogućnosti investiranja na području malih izvora energije.

Međutim, jedino u slučaju da je izgradnja hidroenergetskih objekata urađena na ekološki prihvatljiv, ekonomski održiv i društveno odgovoran način, možemo reći da predstavlja uspješan pokazatelj održivog razvoja.

Osnovne prednosti dobijanja energije iz malih hidroelektrana, u odnosu na druge alternativne izvore energije (kao što je energija vjetra, sunca, talasa), jesu (Aškrabić, 2012):

- ◆ visoka produktivnost (veća od 50%) u odnosu na druge (oko 30% kod vjetra npr.) obnovljive izvore energije;
- ◆ mnogo veća efikasnost od bilo kog drugog alternativnog izvora energije;
- ◆ saglasnost sa tražnjom (proizvodnja je najveća zimi kada je potražnja najveća);
- ◆ tehnologija je dugotrajna sa vijekom trajanja i do pedeset godina;
- ◆ predstavlja pogodan način za elektrifikaciju ruralnih područja.

Pored toga 1 GWh električne energije proizvedene u malim hidroelektranama:

- ◆ uštedi 220 tona nafte,
- ◆ 335 tona uglja i
- ◆ izbjegava emisiju od 480 tona CO₂.

Uprkos navednenim prednostima izgradnje objekata malih hidroelektrana, i dalje postoje brojne barijere koje su suprostavljene razvoju ovakvih projekata, kako u razvijenim zemljama, tako i u zemljama u razvoju. Zbog toga je potrebno da vlade zemalja, u okviru odgovarajuće politike i zakonskih akata, rade na promociji ovakvih projekata (Khan, 2014).

Uobičajno je bilo da se male hidroelektrane grade radi ostvarenja profita. Drugim ciljevima se nije poklanjala posebna pažnja i smatralo se da je u ekonomskom cilju sadržana dovoljna nadoknada za promjene na životnu sredinu.

Međutim, to postaje krajnje konzervativan i neodrživ cilj. I dalje je jedan od ciljeva ostvarenje maksimuma proizvodnje energije, ali se istovremeno nastoji ostvariti više različitih međusobno povezanih ili nepovezanih ciljeva.

Pristup u smislu ostvarenja multidimensionalnosti interesa i ciljeva vodi do poboljšanja ne samo ekonomskih, već i ekoloških i socijalnih efekata izgradnje malih hidroelektrana.

U multidimensionalnosti projekta i višestrukosti ciljeva sadržan je sinergijski efekat što je osnova ostvarenja maksimalne društvene i ekonomske koristi. Širina domena sinergijskih efekata zasniva se na (Aškrabić, 2012):

- ◆ poboljšanju ekoloških pogodnosti,
- ◆ doprinosu unapređenju integralnog pristupa vodama i njihovom tretmanu u širem slivnom području,
- ◆ unapređenju sistema za navodnjavanje,
- ◆ poboljšanju u zaštiti od poplava,
- ◆ porastu saobraćajnih mogućnosti brdsko-planinskih područja,
- ◆ poboljšanju naponskih prilika i povećanju pouzdanosti elektroenergetskog sistema,
- ◆ unapređenju i stabilizaciji nivoa površinskih voda,
- ◆ itd.

I pored navedenih prednosti projekata malih hidroelektrana nije svaki projekat isti. Postoje i oni projekti malih hidroelektrana koji negativno utiču na životnu sredinu ili društvenu zajednicu. Preporuke za održiv razvoj hidroelektrana su slijedeće:

- ◆ Vlada treba da uspostavi pravedan, pouzdan i efikasan proces procjene uticaja na životnu sredinu i na socijalne posljedice.
- ◆ Zemlje u razvoju treba da razviju energetska politiku sa jasno uspostavljenim ciljevima u pogledu razvoja opcija za proizvodnju energije, uključujući i male hidroelektrane.
- ◆ Projektanti treba da primjenjuju, kako ekološke, tako i socijalne kriterijume prilikom poređenja alternativnih projekata, kako bi se eliminisali neprihvatljivi projekti još u procesu planiranja.

2.1. Korištenje vodnog potencijala

Zbog sve veće oskudnosti obnovljivih izvora energije i njihovog štetnog uticaja na životnu sredinu, naglasak se stavlja na povećanje učešća obnovljivih izvora energije u ukupnoj proizvodnji energije.

Ne samo razvijene zemlje, već i zemlje u razvoju prepoznaju potencijal korištenja obnovljivih izvora energije, s obzirom na velike probleme koji se javljaju, vezano za klimatske promjene, energetska sigurnost i pristup izvoru energije. Proizvodnja i prenos električne energije posjeduje neke osobine koje je izdvajaju od ostalih grana energetike. "Glavne osobnosti elektroenergetike, relevantne za korištenje vodnih snaga su sljedeće:

1. Proizvodnja električne energije, njen prenos i raspodjela, kao i pretvaranje u druge vidove energije vrši se praktično u istom trenutku, bez mogućnosti akumulisanja u tom energetsom vidu. Električna energija se može proizvoditi samo kada to zahtjevaju potrošači, i obrnuto, može se trošiti kada se proizvodi, i to tačno onoliko koliko se proizvodi. Neuravnoteženost između ukupne snage angažovanih elektrana i ukupne snage potrošača uključenih u system, ne može postojati, jer bi svako narušavanje te jednakosti dovelo do pogoršanja kvaliteta energije. Znači, u sistemu mora stalno da bude zadovoljen identitet:

$$\text{Proizvodnja} = \text{Potrošnja} + \text{Gubici u prenosu}$$

2. Prelazni procesi u elektroenergetskom sistemu odvijaju se neuporedivo brže, nego u drugim tehničkim sistemima.
3. Potrošnja električne energije je neravnomjerna tokom godine, sedmice, dana, pa čak i sata.
4. Proizvodne mogućnosti hidroelektrana su neravnomjerne po godinama, unutar godine i u kraćim vremenskim intervalima.
5. Proizvodnja električne energije mora da zadovolji uslove dovoljnosti, sigurnosti, kvaliteta, ekonomičnosti i racionalnosti.”(Đorđević, 1981)

Gore navedene osobenosti elektroenergetike zahtjevaju da energetska sistem funkcioniše kao jedna cjelina i, samim tim, one imaju i odraz na osnovne principe korištenja vodnih potencijala.

2.1.1. Energija vode (hidroenergija)

Energija koju posjeduje vodeni tok se u prirodnom toku troši na savladavanje unutrašnjih i spoljašnjih otpora, na eroziju vodenog korita rijeke, prenos nanosa, a dijelom se transformiše i u toplotnu energiju. Ovo znači da hidroenergetski neiskorišteni vodeni tok eksergiju transformiše u anenergiju.

Posmatrajmo vodeni tok na dionici I-II na nekom dijelu dužine l . Geometriju toka opisuju:

- ◆ pad toka H ,
- ◆ poprečni presjek toka ω ,
- ◆ dužina toka l , a

Protok opisuje:

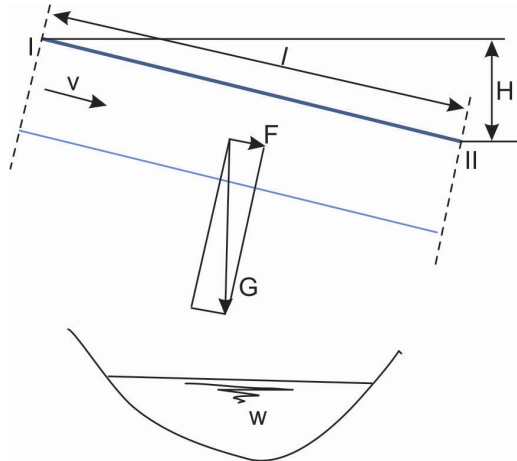
- ◆ proticaj Q ,
- ◆ brzina v i
- ◆ gustina ρ

Kako je rad toka na dionici dužine l koji obavlja sila F (slika 2.2.):

$$A = F \cdot l = G \cdot \sin \alpha \cdot l = \rho \cdot g \cdot \omega \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot l, \text{ te}$$

$$l \cdot \sin \alpha = H$$

$$l = v \cdot t$$



Slika 2.2. Tok na dionici dužine l

Izvor: Đorđević (1981)

dobija se izraz za snagu (kao rad koji se izvrši u jedinici vremena):

$$N = \frac{A}{t} = \frac{\rho \cdot g \cdot \omega \cdot v \cdot t \cdot H}{t} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

pri čemu je:

$$Q = \omega \cdot v.$$

Iz izraza za snagu vodenog toka se vidi da zavisi od proticaja Q i pada H .

Energiju vodenog toka u nekom vremenskom intervalu T je moguće definisati kao:

$$E = N \cdot T.$$

Da bi se što veći dio energije vodenog toka mogao zadržati u obliku eksergije, kako bi se ona iskoristila u druge vidove energije, u ovom slučaju električnu, potrebno je omogućiti takve uslove kretanja vode kako se ona ne bi transformisala u anenergiju. "To se može postići samo koncentracijom pada na što kraćem potezu vodotoka u zoni iskorištenja i smanjivanjem otpora koje vodotok savladava u tom procesu koncentracije pada" (Đorđević, 1981). Osnovno načelo za koncetranciju pada i smanjenje otpora je:

- ◆ usporavanjem vodotoka,

- ◆ derivacijom vode otvorenim kanalima ili dovodima i odvodima pod pritiskom, uz težnju da se na tehničko ekonomski minimum smanje otpori i hidraulički gubici,
- ◆ spuštanjem nivoa vode,
- ◆ kombinovanim mjerama.

2.1.2. Energija vode u hidrauličnim mašinama

U hidroturbini obrtno kolo putem lopatica prima energiju vodenog toka i transformiše je u mehaničku energiju rotacije koja se, zatim, posredstvom generatora, transformiše u električnu energiju.

“Za rad kola neophodno je da postoji sila koja djeluje između kola i vodene struje. Struja putem tangente dolazi do turbinskog kola. Pošto joj na putu stoji prepreka – lopatice obrtnog kola – vodena struja mora da skrene sa pravca toka. Skretanjem se, međutim, proizvodi sila na obodu kola. Komponenta ove sile u pravcu tangente kruga primorava kolo da se okreće, čime se, posredstvom pomenute sile, obavlja proces prenošenja energije” (Đorđević, 1981).

2.1.3. Gubici u transformaciji energije

U procesu transformacije energije iz jednog oblika u drugi dolazi do određenih gubitaka:

1. U procesu transformacije energije koja je predata turbini u energiju koja je realizovana u turbini. Ovi gubici se mogu podijeliti na tri grupe:
 - ◆ gubici pri proticanju vode kroz turbininu,
 - ◆ gubici po zapreminskoj komponenti,
 - ◆ gubici izazvani trenjem rotirajućih elemenata i
 - ◆ gubici izazvani otporom vode u zazorima između rotora i kućišta turbine.
2. U procesu transformacije mehaničke energije rotacije u električnu energiju u generatoru.
3. U transformatoru zbog zagrijavanja.

Prema tome efektivna snaga na pragu elektrane je jednaka:

$$N=9,81 \cdot Q \cdot H_n \cdot \eta \text{ [kW]},$$

pri čemu je:

$$\eta = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_{tr} - \text{ukupni koeficijent korisnog dejstva,}$$

H_n – neto pad.

Iz relacije je vidljivo da količina dobijene hidroenergije na određenom području zavisi od vodenog pada na turbini i odgovarajućeg protoka.

Proizvedena električna energija je jednaka:

$$E = \rho \cdot g \cdot V \cdot H_n \cdot \eta$$

gdje je

V – zapremina vode koja je energetske iskorištena za određeno vrijeme,

H_n – prosječni neto pad tokom energetske prerade date zapremine,

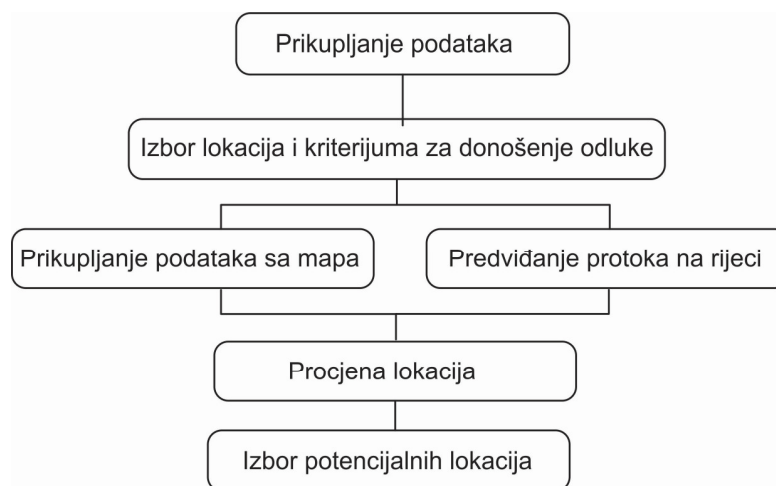
η – ukupni koeficijent korisnog dejstva

2.2. Polazne osnove za izgradnju malih hidroelektrana

Efikasna studija potencijalnih lokacija projekata malih hidroelektrana ima za cilj da ispita:

- ◆ da li je izgradnja hidroenergetskog projekta u odabranom području izvodljiva
- ◆ u kojoj mjeri je moguće generisati kapacitet snaga prije provođenja istrage na lokaciji.

U početnoj studiji se koriste dostupne informacije i osnovni koraci, kako je prikazano na slici 2.3.



Slika 2.3. Koraci za identifikaciju pogodnih profila za energetske iskorištavanje raspoloživih vodotoka

Izvor: Manual for Feasibility study on micro/small hydropower development, 2010.

Postupku izgradnje hidroelektrane bi trebalo da prethodi izrada studije malih hidroelektrana koja bi obuhvatila (Mihajlović, 1985):

- ◆ Prikupljanje postojećih podloga, identifikaciju pogodnih profila za energetske iskorištavanje voda, određivanje lokacija koje su pogodne za zahvat vode, definisanje lokacije za priključenje male hidroelektrane na energetske mreže kao i uklapanje u vodoprivredne planove.
- ◆ Rad na terenu koji bi obuhvatio rekognosciranje evidentiranih energetskih profila.
- ◆ Obrada prikupljenih podataka (katastar). Iz obrade prikupljenih podataka bi trebalo da proisteknu podaci o lokacijama malih hidroelektrana za svaki veći vodotok, sa podacima o:
 - i. nazivu vodotoka,
 - ii. površini sliva,
 - iii. minimalnom opaženom proticaju,
 - iv. maksimalnom opaženom proticaju,
 - v. godišnjem proticaju i
 - vi. tipu postrojenja.
- ◆ Grupisanje datih lokacija po instalisanom protoku i instalisanom padu. Na osnovu ovih parametara sve lokacije se mogu podijeliti na četiri osnovna tipa: pribranski, protočni, derivacioni i kombinovani.

Obrada katastra obuhvata (*Mihajlović, 1985*):

- ◆ Hidrološka mjerenja – Na osnovu hidroloških mjerenja definišu se karakteristični profili na kojima će se osnovati hidrološke stanice za posmatranje vodostaja i povremena mjerenja proticaja u toku jedne ili više hidroloških godina. “Ovi profili treba da definišu hidrološke elemente vodnog režima sliva u datom profile, povezano sa određenim hidroenergetskim profilom, ali i da posluže za definisanje režima vode u cijelom slivu” (*Mihajlović, 1985*).
- ◆ Prikupljanja podloga i podataka u cilju evidentiranja stanja u slivu i potencijalnih lokacija na kojima je moguća izgradnja. U ovoj fazi je potrebno evidentirati i postojeće objekte na vodotoku.
- ◆ Procjene raspoloživih količina vode.
- ◆ Analiza dobijenih podataka i njihov prikaz – na osnovu prethodnih istraživanja izdvajaju se lokaliteti u slivu sa većom koncentracijom hidroenergetskog potencijala. Za svaki lokalitet pravi se pregled osnovnih energetskih i ekonomskih pokazatelja. Na slici 2.4. dat je primjer katastra hidroelektrane Kruševo na rijeci Vrbanja iz Vodoprivredne osnove 1987.

Ime HE	Kruševo		
Br	44		
Reka	Vrbanja		
LOKACIJA			
	Brana		Mašinska zgrada
Koordinate	X	Y	X
	6468982	4919152	6468829
Rečna stacionaža (km)	83.400		82.250
HIDROLOŠKI PODACI			
Slivna površina (km ²)			37
Pros.protok - Qavg (Osnova) (m ³ /s)	1.25		Pros.protok- Qavg (2011) (m ³ /s) 1.25
Velike vode - Q _{0.1%} (Osnova) (m ³ /s)	66		Velike vode - Q _{0.1%} (2011) (m ³ /s) 97.02
Ekološki minimum - Qecol.min (2011) (m ³ /s)			0.13
PODACI O AKUMULACIJI			
Max. NV (mnm)	na	Normalni NV (mnm)	620
Min NV (mnm)			619
Ukupna zapremina (Mm ³)	0		Korisna zapremina (Mm ³) 0
Površina akumulacije (ha)	0		Dužina akumulacije (km) 0
PODACI O HIDROELEKTRANI			
Tip šeme (DER - derivaciona ; CTD - pribranska)			DER
Donja voda (mnm)	600		Maksimalni bruto pad (m) 20
Instalisani protok - Qins (m ³ /s)	1.5		Qins/Qavg 1.2
Instalisana snaga - Pins (MW)			0.24
Tip turbine	kaplan		Broj agregata 2
PODACI O BRANI			
Tip brane			tirolski
Konstruktivna visina			Dužina krune
PODACI O PRELIVU I TEMELJNOM ISPUSTU			
Tip preliva			tirolski
Broj prelivnih polja	1		Dimenzije ustave B x H (m x m) na
Dimenzija temeljnog ispusta D / L (m / m)			na
PODACI O DERIVACIJI			
Tip derivacije (T - tunel; CH - kanal)			na
Tunel:			
Dužina (m)	na		Prečnik (m) na
Kanal - uzvodno od mašinske zgrade:			
Dužina (m)	na	Širina u dnu (m) na	Dubina (m) na
Nagib strana m (1:m)	na		Podužni nagib na
Kanal - nizvodno od mašinske zgrade:			
Dužina (m)	na	Širina u dnu (m) na	Dubina (m) na
Nagib strana m (1:m)	na		Podužni nagib na
PODACI O ČELIČNOM CEVOVODU			
Dužina (m)	1100		Prečnik (m) 1.3
PROSEČNA PROIZVODNJA ENERGIJE			
Prosečna proizvodnja energije (GWh)			1.3
INVESTICIONO KOŠTANJE			
Investiciono koštanje - Osnova 1987 (milioni jug.dinara)			1633

* na - nije primenljivo; nda - podaci nisu raspoloživi

Slika 2.4. Opšti podaci katastra

Izvor: Integralna vodno-energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbanja. Modul 2 Hidroenergetski razvoj, 2013.

2.3. Hidrološka analiza

“Analiza cjelokupne problematike razvoja i realizacije projekata malih hidroelektrana ukazuje na to da u tom procesu postoje i određene prepreke. Prepreke proizilaze, prije svega, iz nepreciznosti i nedostatka pojedinih zakona i propisa, nedostatka finansijskih sredstava i nedostatka relevantnih informacija i koordinacije među nosiocima odgovornosti. Jedna od praktičnih smetnji, koja se do sada pokazala kao prilično veliki problem, jeste i nedovoljna izučenost vodotoka na kojima se planiraju male hidroelektrane”(Sekulić i Đorđević, 2014).

Elementi vodotoka na kojem se gradi mala hidroelektrana su podložni stalnim promjenama u pogledu vodostaja, količine i brzine vode, padova i poprečnih profila vodotokova.

Hidrološka analiza predstavlja važniju podlogu za pravilnu izradu tehničke dokumentacije. Naime, na bazi hidrološke analize se vrši dimenzionisanje elektromašinske opreme i sistema hidrograđevinskih objekata. Sa druge strane, rezultati hidrološke analize predstavljaju ulazne podatke za proračun proizvodnje električne energije, a samim tim i za proračun novčanih tokova u toku eksploatacije hidroenergetskog objekta.

Na malim vodotokovima se ne mjere sistemski hidrološke veličine, već se na osnovu simultanih mjerenja dolazi do određenih zakonitosti za duži vremenski period.

Osnovni podaci o protoku vode se mogu dobiti na osnovu vizuelnog osmatranja, na osnovu empirijskih formula ili pak direktnim mjerenjima. Vizuelna osmatranja se mogu koristiti za određivanje visokog vodostaja vode, za praćenje povlačenja vode ili pak duže zadržavanje na određenom nivou, za praćenje deformacija korita i sl. Empirijske formule predstavljaju pomoćne metode za određivanje određenih parametara vodotoka.

Sa hidrološkog i vodoprivednog aspekta najvažnija komponenta hidrološkog bilansa je proticaj. Na proticaj sliva utiču dvije grupe faktora: klimatski faktori (padavine, isparavanje i sl.) i fizičkogeografski faktori u koje spadaju karakteristike sliva odnosno vodotoka.

Hidrološka analiza za određivanje proticaja dosta je komplikovana s obzirom da se radi o malim hidroelektranama imajući u vidu da se uglavnom radi o hidrološki neizučenim slivovima. U ovom slučaju potrebna je studiozna analiza svih parametara koji utiču na proticaj te primjenu metoda koje se koriste kada se radi o hidrološki neistraženim slivovima.

Preliminarna hidrološka analiza sadrži proračun (Alilović i Popović 2012):

- ◆ Fizičko-geografskih karakteristika sliva i vodotoka,
- ◆ srednjeg višegodišnjeg protoka po određenoj metodi,

- ◆ krive trajanja protoka i
- ◆ bruto energetskeg potencijala duž vodotoka.

2.3.1. Određivanje srednjeg višegodišnjeg proticaja

Za procjenu višegodišnjeg proticaja koriste se podaci dobijeni mjerenjem i primjenom različitih metoda matematičke statistike. Za određivanje proticaja sa malih slivova za koje nisu vršena mjerenja, proticaj se može odrediti primjenom različitih metoda:

- ◆ metoda analogije,
- ◆ metoda Langbein-a i
- ◆ metoda predominantnih faktora.

Metoda analogije je jedna od metoda za približno određivanje vrijednosti prosječnih godišnjih proticaja. Po ovoj metodi traži se sliv analog, za koji se raspolaže hidrološkim podacima. Ti se hidrološki podaci zatim preslikavaju na dati hidrološki neizučeni vodotok. Za približno određivanje proticaja na hidrološki neizučenom slivu koristi se relacija (Alilović i Popović, 2012):

$$Q_n = Q_a \cdot \frac{F_n}{F_a} \cdot \frac{Z_n}{Z_a} \cdot \frac{P_n}{P_a},$$

gdje je:

Q_n – prosječni višegodišnji proticaj za nepoznati vodotok,

Q_a – prosječni višegodišnji proticaj za sliv analog,

F_n i F_a – površina sliva za koji se računa proticaj i površina za sliv analog,

Z_n i Z_a – srednja nadmorska visina za neizučeni sliv i sliv analog i

P_n i P_a – prosječne padavine za neizučeni sliv i sliv analog.

Metoda Langbein-a – za proračun srednjeg višegodišnjeg proticaja koristi zavisnost (Alilović i Popović, 2012):

$$\frac{Q_{sr}}{K} = f\left(\frac{P_{sr}}{K}\right),$$

$$K = 10^{(0,027 \cdot T + 0,886)}$$

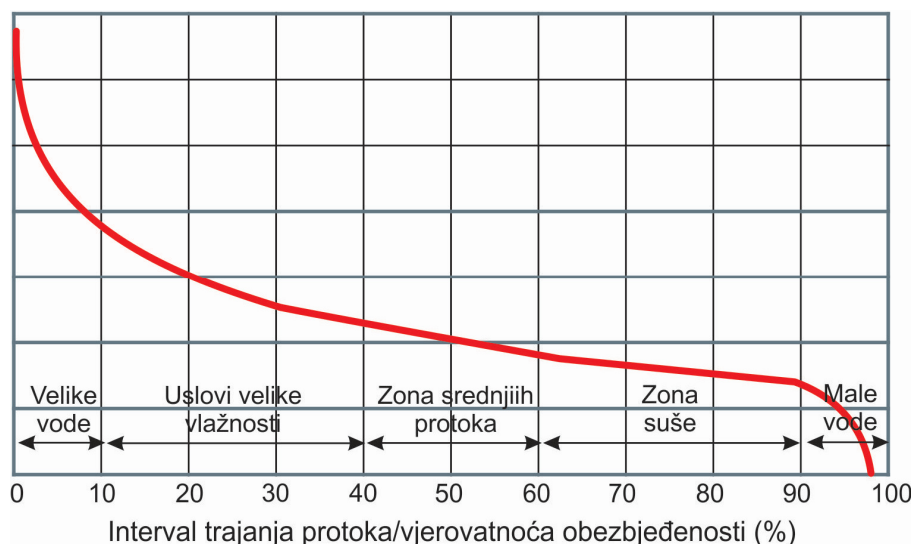
gdje je:

Q_{sr} – prosječno oticanje sa posmatranog sliva,

P_{sr} - prosječne višegodišnje padavine u slivu i

K - temperaturni faktor

Intervali na krivoj trajanja mogu se podijeliti u nekoliko zona, kako je prikazano na slici 2.6. Ova podjela na zone daje dodatne podatke o uslovima i stanju vodotoka na kojem se vrši osmatranje. Uobičajena je podjela na pet zona: velike vode (0-10%), uslovi visoke vlažnosti (10-40%), zona srednjih protoka (40-60%), zona suše (60-90%) i malovodni periodi (90-100%) vjerovatnoće obezbjeđenosti.



Slika 2.6. Zone na krivoj trajanja kao indikatori hidroloških uslova

Izvor: Sekulić, Đorđević (2014)

Navedena podjela nije striktna, odnosno zone se mogu mijenjati u odnosu na lokalne hidrološke uslove.

Oblik krive trajanja može da ukazuje na neke karakteristike sliva. Tako, ako je kriva trajanja stepenasta to pokazuje da je protok posljedica direktnog – površinskog oticaja, dok kontinuirana kriva trajanja bez naglih skokova ukazuje na prisustvo nekog dotoka u sliv (površinskog ili podzemnog).

Takođe, oblik kraja krive trajanja utiče na količinu akumulisanja. Ravnomjerna linija ukazuje na veliku količinu akumulisanja, dok stepenasti kraj ukazuje na mali uticaj akumulisane vode.

“Oblik i gradijenti krive trajanja protoka bitno zavise i od tipa ulaznih podataka – jesu li proticaji srednji, dnevni, srednji mjesečni ili srednji godišnji. Za sve vidove planiranja, posebno za planiranje malih hidroelektrana, vjerodostojnu, najpotpuniju informaciju pružaju krive trajanja dobijene na osnovu srednjih dnevnih proticaja” (Đorđević i Sekulić, 2014).

Međutim, postoje i određene mane primjene krivih trajanja protoka, kao osnovnog parametra prilikom izbora male hidroelektrane. Jedan od razloga su nerealni rezultati (posebno se odnosi ukoliko su periodi obrade kratki). “Na malim vodotocima, tj. na njihovim krivim trajanja zapažaju se sljedeće zakonitosti: kriva se na dužim potezima ‘priljepljuje’ uz ordinatu na kojoj su protoci, i apcisu na kojoj je

vrijeme, se velikim gradijentima 'ugiba' dijagrama. Takav oblik je posljedica pojave velikog povodnja sa kratkim trajanjem (priljublivanje uz ordinatu) i dugog trajanja veoma smanjenih protoka u malovodnom periodu. Ta činjenica, kada se prenebregne u procesu analize proizvodnje MHE i njenih ekonomskih pokazatelja na bazi uprošćenih vrijednosti, može da dovede u veliku i opasnu zabludu investitora koji odlučuje o realizaciji malih hidroelektrana“ (Đorđević i Sekulić, 2014).

2.3.3. Bruto-energetski potencijal vodotoka

Bitna karakteristika hidrološke analize sadrži i proračun bruto-energetskog potencijala vodotoka. Njegovi osnovni elementi su (Mihajlović, 1985):

- ◆ bruto-potencijal od padavina i
- ◆ bruto-potencijal od voda koje otiču.

Za proučavanje energetskog potencijala vodotoka potrebno je odrediti sljedeće elemente hidroenergetskog potencijala (Mihajlović, 1985):

1. uzdužni profil rijeke,
2. pad na svaki km toka,
3. prosječan proticaj na osmatranom profilu,
4. bruto-potencijal vodotoka i
5. ukupni bruto-potencijal na toku.

Na osnovu navedenih podataka mogu se definisati mjesta na vodotoku za značajnijim hidroenergetskim potencijalom koja predstavljaju pogodne lokacije za izgradnju malih hidroelektrana.

2.4. Metodologija planiranja malih hidroelektrana

2.4.1. Osnovi pojmovi energetskog planiranja

Pojam planiranje energetskog sistema se može definisati kao aktivnost izrade planova razvoja, projektovanje i izgradnja sistema i njegovih elemenata u cilju zadovoljenja nekih, pretpostavljenih, budućih potreba. Pri tome se polazi od postojećeg stanja u sistemu i prognoza potreba potrošača. Izbor optimalnog rješenja se vrši na osnovu uspostavljenih kriterijuma koji su se uglavnom zasnivali na minimizaciji troškova (investicionih i operativnih) uz pristustvo neizvjestnosti u pretpostavkama na osnovu kojih se odluke donose. “Zbog toga se pri planiranju razvoja energetskog sistema mora početi od generalne strategije razvoja zemlje (ako takva strategija postoji), pa onda pristupiti planiranju razvoja pojedinih energetskih sektora, od kojih je jedan i sektor elektroenergetike. Izrada navedenih planova razvoja je multidisciplinarnog karaktera i uključuje, pored tehničkih, i ekonomske,

socijalne, ekološke i političke aspekte od kojih se neki teško kvantifikuju” (Vujošević, 2005).

Planiranje korištenja obnovljivih izvora energije predstavlja dio šireg područja koje obuhvata snabdijevanje energijom uz zaštitu životne sredine. Kao takav, plan mora da se bavi opštim pojmom održivog razvoja što znači da se mora tražiti kompromis između različitih oblasti: privrede, zaštite životne sredine, dostupnosti resursa i sl. Politički, društveni, ekonomski i ekološki značaj energetskeg planiranja, u cilju zadovoljenja sve veće potražnje za adekvatnim izvorom energije, predstavlja veliki izazov za kreatore politike. Ovo posebno važi za obnovljive izvore energije, s obzirom na njihove osobenosti (decentralizovana proizvodnja, kratkoročni troškovi, angažovanje velikog broja zainteresovanih strana), a to podrazumjeva upotrebu posebnih instrumenata u odabiru optimalne opcije (Polatidis et al., 2006).

U literaturi se može naći više različitih definicija procesa energetskeg planiranja. U nekim istraživanjima otkriva se niz značajnih činjenica koje se moraju uzeti u obzir. Cormio et al. (2003) smatraju da je osnova za energetske planiranje da se predvidi potrebna količina energije u određenom period, pri tome uvažavajući političke, socijalne i ekološke aspekte kao i istorijske podatke o mogućem iskorištavanju energetskeg izvora. Kleinper (2009) kao osnovni cilj energetskeg planiranja identifikuje potrebu za dobrim upravljanjem prirodnim izvorima energije i smanjenje uvoza energije, kao i njeno racionalno korištenje. Prasad et al. (2014) navodi da planiranje energetskeg sistema podrazumijeva pronalaženje skupa izvora i uređaja za konverziju energije kako bi se zadovoljile potrebe za energijom na optimalan način.

S obzirom na navedeno, očigledno je da planiranje energetskeg potreba podstiče održivi razvoj. Dobar energetske plan je zasnovan na detaljnom istraživanju o potrošnji i snabdjevanju energijom, cijeni energenata, ponudi i potražnji tehnologija za proizvodnju, rastu stanovništva, promjenama u odnosu na životnu sredinu, socijalnim uticajima, kao i uticaju političke situacije na planiranje.

“Thery i Zarate su definisali tri različita termina za energetske planiranje: kratkoročno (dnevno, mjesečno i godišnje), srednjoročno (od jedne do deset godina) i dugoročno (preko 15 godina). Svrha kratkoročnog planiranja jeste da obezbijedi pouzdanost usluga, jer se odluke donose na osnovu postojećih tehnologija, dok srednjoročno planiranje osigurava ispunjavanje potražnje za energijom za duži rok, uzimajući u obzir mogućnost uvođenja novih energetskeg tehnologija. Svrha dugoročnog planiranja energetike je da razvije novu infrastrukturu i/ili promoviše nove tehnologije za predviđanje promjena u potražnji energije. Nedostatak dugoročnog planiranja je mogućnost zanemarivanja nekih važnih strukturnih promjena koje mogu da igraju ključnu ulogu (Kleinpeter, 1995). Osim toga, razvoj novih tehnologija, politička ograničenja kao i socijalna i ekološka ograničenja će imati značajan uticaj na planiranje.” (Ravita, Prasad and Bansa, 2014).

2.4.2. Problemi energetskeg planiranja

“Problem planiranja raspolaganja prirodnim energetskeim resursima u funkciji održivog razvoja svakim danom sve je složeniji, a njegova kompleksnost je u direktnoj zavisnosti od ekspanzije sistema i sve prisutnijeg problema poremećaja i zagađenja u životnoj sredini” (Stevović, 2006).

Ovaj problem se do sada uglavnom rješavao na način da se razvojni planovi formiraju na osnovu dvije grupe kriterijuma: ekonomski i tehnički. Ipak, to nije samo tehnički odnosno ekonomski problem. Planiranje energetskeg sistema treba da proistekne iz velikog broja ograničenja u skladu sa održivim razvojem čije su komponente ekonomski faktor, faktor zaštite životne sredine, socijalni faktor i faktor kulturnog razvoja društva. Ovo znači da je proces planiranja i izgradnje energetskeih sistema potrebno rješavati integralno. Potrebno je u obzir uzeti veliki broj ograničenja vezano za zakonske normative, političku klimu, zaštitu životne sredine, stavove društvene zajednice i sl.

Izgradnja postrojenja malih hidroelektrana treba da se planira u okviru privrednog, a posebno vodoprivednog razvoja. “Prema Thery i Zarate, energetske planiranje određuje optimalnu kombinaciju izvora energije da zadovolji dati zahtjev uzimajući u obzir multikriterijumsko donošenje odluka, koje su kvantitativne (tehničke i ekonomske) i kvalitativne (ekološki aspekt i društvena prihvatljivost)” (Ravita, Prasad and Bansa, 2014).

Sve navedeno dovodi do zaključka da je proces planiranja energetskeih projekata vrlo težak i odgovoran, s obzirom da, s jedne strane, postoji nesigurnost u predviđanju određenih faktora (kao što je cijena energije, potrošnja i sl.) i postojanje velikog broja ograničenja, sa druge strane. “Jedan od najtežih problema u postupku planiranja sistema proizilazi iz činjenice da se proračuni sprovode uz nesigurne podatke o predviđanju potrošnje i kretanju cijena svih ekonomskih elemenata u budućnosti, kao i uz uvijek prisutnu problematiku održavanja usklađenog odnosa sa životnom sredinom i resursima, sa ciljem postizanja održivog razvoja. Ta se nesigurnost može ublažiti kroz analizu osjetljivosti rezultata proračuna na promjenjivost pojedinih ulaznih parametara.” (Stevović, 2006).

Prema nekim autorima, u procesu planiranja malih hidroelektrana nije potrebna precizna hidrološka, geološka i ekološka analiza lokacija. S jedne strane veliki je rizik izgradnje objekata bez analize, a sa druge strane veliki su troškovi u procesu prikupljanja podataka i izradi podloga u neizučenim slivovima. Imajući navedeno u vidu, dolazi se do zaključka da se prva faza obrade potencijalnih lokacija mora sprovesti uz što niže troškove, do trenutka kada će se dobiti pokazatelji ekonomske efikasnosti projekta. Polazni koraci obuhvataju:

- ◆ “Odredi se obim analize, odnosno broj potencijalnih lokacija u jednom ili više slivova.

- ◆ Za analizirano područje se prikupe i sistematizuju “gube” podloge kao što su geodetske, geotehničke, hidrološke, klimatološke, itd.
- ◆ Tehnikom statističke analize se definišu ciljevi koji mogu odgovarati izgradnji objekata i izvrši rangiranje ciljeva po važnosti.
- ◆ Na osnovu postavljenih ciljeva razrade se kriterijumi (tehnički, ekonomski, društveni itd.) za kvalitativno i kvantitativno vrednovanje svake lokacije. Posebno se trebaju naglasiti direktni, novčano mjerljivi i nemjerljivi kriterijumi.
- ◆ Jednom od pogodnih metoda izvrši se vrednovanje svake lokacije, a na osnovu toga, numerički izvrši rangiranje lokacija, i na taj način, odredi odnos između lokacija.
- ◆ za lokaciju koja je prva u rangu potrebno je detaljno razraditi parametre neophodne za određivanje ekonomske efikasnosti objekta” (*Mihajlović, 1985*).

Ocjena polaznih elemenata istraživanja i programiranja malih hidroelektrana bi se trebala zasnivati na izradi katastra, što podrazumjeva istraživanje mogućnosti iskorištavanja raspoloživih resursa vode. Hidroenergetsko izučavanje je osnova za proces planiranja korištenja vodnih snaga na određenom području. Osnovne karakteristike hidroenergetskog izučavanja su (*Mihajlović, 1985*):

- ◆ Stalnost istraživanja – bez obzira što je riječ o obnovljivom energetsom resursu, nepohodno je konstantno izučavanje svih karakteristika, kako bi se raspolagalo sa aktuelnim podacima o mogućnosti korištenja.
- ◆ Kompleksno iskorištavanje voda – iskoristivi vidovi hidroenergetskog potencijala se trebaju proučavati u sklopu kompleksnog vodoprivednog rješenja i korištenja voda u određenom slivu.
- ◆ Zaštita vodnog potencijala – hidroenergetski potencijal se mora zaštititi od neplanske gradnje i urbanizacije riječnih dolina i prostora koji su namijenjeni za izgradnju malih hidroelektrana.
- ◆ Tehnički i ekonomski iskoristiv potencijal – cilj je da se odredi stvarni tehnički i ekonomski iskoristiv potencijal vodotoka.

Katastar malih hidroelektrana veoma utiče na njihov razvoj. Njime se doprinosi izradi dugoročnih i kratkoročnih planova i preuzimanju odgovarajućih mjera za izradu odgovarajuće dokumentacije. Ovakva istraživanja između ostalog omogućavaju i (*Mihajlović, 1985*):

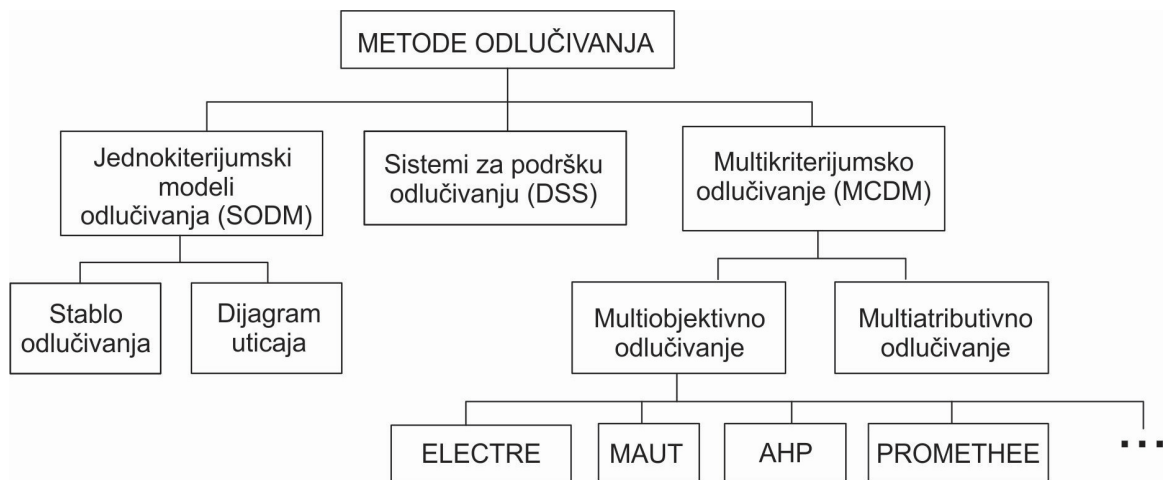
- ◆ evidentiranje povoljnih, raspoloživih resursa,
- ◆ unapređenje privrede i
- ◆ izradu odgovarajućih planova i programa razvoja elektroprivrede.

2.4.3. Donošenje odluka u procesu planiranja

Osnovni cilj energetskeg planiranja je uskladiti ponudu sa tražnjom u određenom vremenskom periodu. “Energetski plan uvijek treba da ima za cilj da podrži održivi razvoj. *Neves i Lear* napominju tri važna kriterijuma održivog razvoja: ekološki, ekonomski i socijalni” (*Ravita, Prasad and Bansa, 2014*). Kriterijum zaštite životne sredine obuhvata smanjenje gasova staklene bašte, zagađenja vazduha i korištenje prirodnih resursa koji su ograničeni. Ekonomski kriterijum uključuje smanjenje zavisnosti od fosilnih goriva i povećanje ulaganja u obnovljive izvore energije i projekte energetske efikasnosti. Socijalni kriterijum uključuje poboljšanje zadovoljstva ljudi otvaranjem novih radnih mjesta, veće udobnosti i uključivanje građana u proces donošenja odluka.

Međutim, to nisu jedini kriterijumi kojima se treba rukovoditi prilikom energetskeg planiranja. Tehnički kriterijumi i geopolitički aspekti su takođe značajni.

Razumijevanje jednog energetskeg sistema, u kome se, s jedne strane, nalazi ponuda, a sa druge tražnja krucijalno je i za njegovo planiranje. Stoga je potrebno primijeniti određene tehnike analize sistema (*decision analysis*). *Prasad et al. (2014)*, metode odlučivanja dijeli na: jednokriterijumske modele odlučivanja (SODM), sisteme za podršku odlučivanju (DSS) i multikriterijumsko odlučivanje, slika 2.7.



Slika 2.7. Klasifikacija metoda za podršku odlučivanju

Izvor: Prasad (2014)

Jednokriterijumske metode su metode koje se odnose na rješavanje problema odlučivanja pri postojanju samo jednog kvantitativnog kriterijuma, pomoću koga se mjeri stepen dostizanja postavljenog cilja. U slučaju da se radi o problemima odlučivanja kod kojih se mora respektovati veći broj kriterijuma, potrebno je koristiti višekriterijumske metode odlučivanja. Tabela 2.1. prikazuje trendove u planiranju hidroenergetskih projekata.

Tabela 2.1. Trend u planiranju hidroenergetskih projekata (Balat, 2006)

Stari koncept planiranja	Novi koncept planiranja
Projekat hidroelektrana se razvija sa ciljem da se poboljša snabdjevanje električnom energijom	<p>Projekat hidroelektrana je dio integrisanog prisupa koji podrazumijeva tehničke, ekološke i socijalne mjere za:</p> <ul style="list-style-type: none"> - zadovoljenje osnovnih potreba na održiv način (voda, svjetlo, snaga), - poboljšanje ruralnog razvoja – posebno za stanovništvo koje je direktno pogođeno razvojem projekta - poboljšanje životne sredine i zaštitu od poplava
Planiranje je odgovornost vlade, često uz asistenciju međunarodnih razvojnih agencija	<p>Planiranje uključuje sve zainteresovane strane:</p> <ul style="list-style-type: none"> - vladu - društvenu zajednicu - nevladine organizacije - finansijske institucije
<p>Procedura planiranja minimalnih troškova:</p> <p>Projekat treba da zadovolji minimalne troškove za dobijanje energije</p>	<p>Multikriterijumsko planiranje:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Projekat mora da bude u skladu sa razvojnim planovima - Potrebna je studija mogućih alternativa za projekte, uključujući i mogućnosti projekata koji se neće realizovati - Potrebna je detaljna analiza poređenja koja prikazuje prednosti i mane svake alternative i to na osnovu tehničkih, ekoloških, društvenih, ekonomskih, finansijskih, političkih parametara, - Postići konsenzus između svih zainteresovanih strana - Detaljno razraditi najbolju/lje alternative
Projekat se nalazi u vlasništvu države, djelimično može biti realizovan uz pomoć međunarodnih razvojnih agencija	<p>Privatni/projekat u javnom sektoru:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Projekti se mogu razvijati i u vlasništvu privatnog sektora sa ili bez učešća države, - Finansiranje je uglavnom iz komercijalnih izvora

- Međunarodne razvojne agencije djeluju kao katalizator za finansiranje projekata pružanjem garancije
 - Koncesiono finansiranje
-

2.4.4. Izgradnja malih hidroelektrana

Prvi korak u procesu izgradnje male hidroelektrane jeste izrada idejnog rješenja odnosno okvirnog sadržaja. Idejno rješenje sadrži informacije o (*Kako izgraditi malu hidroelektranu u Republici Srpskoj, 2003*):

- ◆ lokaciji objekta na katastarskom planu,
- ◆ osnovnim hidrološkim podacima (srednji godišnji protok, kriva trajanja protoka, procjena velikih voda),
- ◆ tehnički opis, situacija, uzdužni profil postrojenja i nacrti glavnih objekata sa osnovnim dimenzijama,
- ◆ osnovne podatke o turbini (tip i broj turbina, nominalni pad, instalisani protok, nominalna snaga turbine, broj obrtaja turbine),
- ◆ osnovne podatke o generatoru (tip i broj generatora, nazivna snaga generatora),
- ◆ način rada male hidroelektrane (paralelno sa mrežom, paralelno i samostalno),
- ◆ lokaciji i načinu priključenja na mrežu,
- ◆ predviđenoj godišnjoj proizvodnji električne energije i
- ◆ procenjenim troškovima izgradnje.

Na osnovu idejnog rješenja projekta, dobija se urbanistička saglasnost za izgradnju. Zahtjev za izdavanje urbanističke saglasnosti sadrži:

- ◆ podatke o namjeni, položaju, funkciji i oblikovanju građevine, odnosno radova i izmjeni namjene,
- ◆ izvod iz plana na osnovu kog se izdaje urbanistička saglasnost,
- ◆ potpisane uslove za izgradnju koje izdaje nadležni organ ili služba (vodopriveda, saobraćaj, energetika...)
- ◆ podatke o korištenju vodotoka i mogućnosti ugrožavanja životne sredine.

Nakon dobijanja urbanističke saglasnosti, potrebno je da se pribavi pravo na zemljište na kojem će se graditi objekat i pravo na korišćenje vodotoka kao obnovljivog prirodnog bogastva.

Objekat male hidroelektrane treba da bude projektovan u skladu sa idejnim rješenjem, utvrđenim urbanističko-tehničkim uslovima i drugim uslovima, propisima o tehničkim normativima i standardima, te pravilima struke. Glavni (izvedbeni) projekat treba da sadrži:

- ◆ podloge: geodetske, hidrološke i geotehničke,
- ◆ geodetski dio: određivanje veličine izgradnje, instalisana snaga i prosječna godišnja proizvodnja električne energije,
- ◆ građevinski dio: tehnički opis, građevinski objekti, hidrotehnički proračuni, statički proračuni, nacrti u adekvatnom mjerilu (pregled situacija postrojenja itd.), predračun.
- ◆ elektromašinski dio: tehnički opis, tehničku dokumentaciju.

Sadržaj glavnog projekta se dostavlja na saglasnot nadležnim organima koji su izdali uslove građenja prostora iz područja vodopriveđe, energetike, zgradarstva, zaštite spomenika i drugih.

Pod pojmom građenje objekta se podrazumijevaju pripremni radovi, građevinski radovi (zemljani, zidarski...), ugradnja opreme i uređaja.

Nakon završene izgradnje objekta, priključenja na mrežu, a prije početka korištenja vrši se tehnički pregled radi provjere tehničke ispravnosti i izdavanja odobrenja za upotrebu. Na osnovu obavljenog tehničkog pregleda, donosi se rješenje za rad male hidroelektrane.

3. Multikriterijumsko odlučivanje

U procesima donošenja odluka, čovjek nastoji da pronađe rješenje koje zadovoljava njegove potrebe i zahtjeve.

Nažalost, pravo optimalno rješenje postoji samo ukoliko se razmatra jedan kriterijum. S druge strane većina realnih situacija se zasniva na više kriterijuma, često konfliktnih, različitih vrsta i kategorija. Zbog toga je nemoguće uzeti u obzir samo jedan kriterijum u cilju dobijanja optimalnog rješenja.

“Multikriterijumsko odlučivanje je oblast koja se još uvijek dinamično razvija, a ima za cilj da donosiocima odluke omogući alate i metode na osnovu kojih bi se moglo napredovati u rješavanju složenih problema odlučivanja pri čemu se više različitih, najčešće kontradiktornih mišljenja mora uzeti u obzir” (Roljić, Landika i Mikić, 2013). Iz navedenog možemo definisati i osnovni zadatak multikriterijumskog odlučivanja:

“Zadatak multikriterijumskog odlučivanja podrazumijeva rangiranje alternativa (a_1, a_2, \dots, a_j) sa zadatim skupom kriterijumskih funkcija (f_1, f_2, \dots, f_n) po kojima će se vršiti vrednovanje, kao i sa utvrđenim vrijednostima i -te kriterijumske funkcije f_j za svaku j -tu varijantu, $i=1, \dots, n$; $j=1, \dots, j$.

Metoda praktično nema ograničenja u pogledu broja razmatranih alternativa i broja kriterijuma po kojima se vrši vrednovanje i rangiranje. Ako se radi o ograničenjima, ona se odnose na obiman posao za pripremu neophodne ulazne kriterijumske matrice

$$f = \left\| f_{ij} \right\|_{n \times j}$$

koja kvantificira vrijednosti i -te kriterijumske funkcije za j -tu alternativu ($i=1, \dots, n$; $j=1, \dots, j$)“ (Đorđević, 2001).

Procesom multikriterijumske analize neće se dobiti najbolje rješenje s obzirom da ne postoji idealno rješenje problema multikriterijumskog odlučivanja, tj. rješenje koje je najbolje istovremeno, iz svih tačaka gledišta. Multikriterijumsko odlučivanje se fokusira na takozvana “kompromisna” rješenja, koja uzimaju u obzir preferencije svih donosilaca odluka praveći ustupke između kriterijuma (Roljić, Landika i Mikić, 2013).

3.1. Pregled literature

Tokom vremena razvijen je veliki broj metoda multikriterijumskog odlučivanja. Metode se međusobno razlikuju po teorijskim osnovama, tipu pitanja i rezultata koji se dobiju. Takođe, neke metode su univerzalne, dok su druge kreirane za specifične

probleme odlučivanja. Osnovno polazište svih metoda jeste da se stvori formalizovan i kvalitetniji proces donošenja odluka (Loken, 2007).

Metode multikriterijumskog odlučivanja se koriste u različitim problemima koji su vezani za odlučivanje u kome postoji veći broj kriterijuma. Multikriterijumsko odlučivanje obuhvata, između ostalog, i različite oblasti energetskog odlučivanja: upravljanje zaštitom životne sredine (Linkov et al., 2006; Pohekar et al., 2004), procesima planiranja energetskih projekata (Loken, 2007; Wang et al., 2009; Priyabrata et al., 2014), primjenom obnovljivih izvora energije (Tsoutsos et al., 2009) i sl.

Široko primjenjivane metode u procesima multikriterijumske analize su AHP, PROMETHEE, ELECTRE, MAUT, FUZZY metode kao i sistemi za podršku odlučivanju. U mnogim slučajevima korišten je veći broj metoda multikriterijumske analize za dobijanje rješenja problema odlučivanja.

Tako Pohekar i Ramachandran (2004) daju pregled korištenja metoda multikriterijumske analize u procesima korištenja obnovljivih izvora energije. U radu se navodi da se u oblasti korištenja obnovljivih izvora energije ove metode najčešće koriste u procesima energetskog planiranja, a najčešće korištene metode su AHP, PROMETHEE i ELECTRE.

Wang et al. (2009), takođe, daju pregled metoda multikriterijumske analize u procesima korištenja obnovljivih izvora energije. U radu "Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making" dat je pregled metoda koje se koriste u različitim fazama multikriterijumskog odlučivanja.

Loken u "Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems" navodi primjere primjene metoda MCDA sa naglaskom na primjenu u procesima energetskog planiranja, kao jednom od područja korištenja multikriterijumskog odlučivanja. U primjerima su navedene i prednosti, kao i teškoće koje se mogu javiti, kao i mogućnost korištenja metoda kojim se vrši analiza više obnovljivih izvora energije. U "MCDA or MCDM based Selection of Transmission Line Conductor: Small Hydropower Project planning and development" Priyubara et al. (2014) daju pregled MCDA metoda koje se mogu koristiti u procesu planiranja i implementacije malih hidroelektrana. Streimikiene et al. (2012) u "Prioritizing sustainable electricity production technologies: MCDM approach", razvijaju model baziran na MCDA analizi kao podršku u izboru najoptimalnijeg izvora električne energije. Model je razvijen korištenjem MULTIMOORA i TOPSIS metoda multikriterijumskog odlučivanja. Troidborg et al. (2014) koriste multikriterijumsku analizu za proces rangiranja osam obnovljivih izvora energije. Razvijeni model je dobijen analizom devet kriterijuma, tri socio-ekonomska, tri tehnička i tri ekološka. Bardhi, Breneshi i Pjetri (2014) u "Impact of Small Hydropower Plant on Improvement of Voltage Level and Energy Efficiencies" analiziraju uticaj malih hidroelektrana na elektroenergetski sistem. Radom je obuhvaćena energetska

efikasnost i poboljšanje naponskog nivoa. Modelom je pokazano da, izgradnjom malih hidroelektrana, dolazi do znatnog poboljšanja efikasnosti, povećanja naponskog nivoa i do znatnog smanjenja gubitaka u prenosu energije.

3.2. Opšti dio

3.2.1. Problem odlučivanja

U svim oblastima društvenog razvoja evidentan je proces donošenja odluka, od svakodnevnih koje donosi pojedinac, porodica, organizacije pa do odluka koje donose privredni i drugi poslovni subjekti. U cilju donošenja odgovarajuće odluke sprovodi se proces odlučivanja, što podrazumijeva korištenje odgovarajućeg modela i optimizaciju tog procesa.

Odlučivanje možemo definisati kao proces izbora između više alternativnih rješenja određenog problema (*Hot, 2014*).

Odlučivanje kao proces ima svoju strukturu i svoj postupak. Kao rezultat procesa odlučivanja, donosi se odluka koja se, u skladu sa strukturom procesa sprovodi, kontroliše i koriguje. „U problemu odlučivanja, tj. problemu izbora između dvije ili više alternativa, postoje ciljevi koji se žele postići odlukom, kriterijumi kojima se mjeri postizanje tih ciljeva, težine tih kriterijuma, koje odražavaju njihovu važnost i alternativna rješenja problema“ (*Roljić, Landika i Mikić, 2013*).

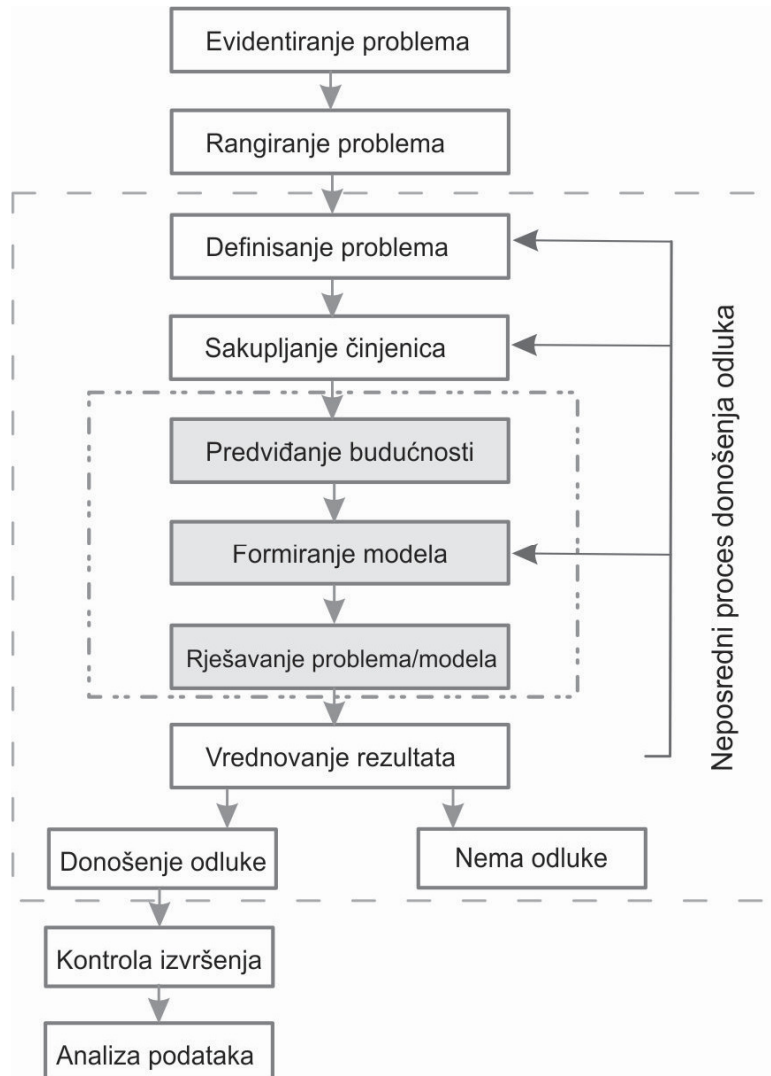
Različiti autori na različite načine definišu postupak odlučivanja. Tako Oldcorn definiše postupak odlučivanja kroz sljedeće faze:

1. identifikacija problema,
2. otkrivanje činjenica i uzroka,
3. razrada mogućih rješenja,
4. odabir alternativa,
5. donošenje odluka i
6. analiza posljedica rješenja.

Hot (2014) definiše sljedeće faze procesa odlučivanja:

1. definisanje problema i određenih ključnih parametara,
2. utvrđivanje kriterijuma odlučivanja - faza kreiranja modela,
3. formulisanje funkcionalnih veza između utvrđenih kriterijuma,
4. generisanje alternativa – faza rješavanja modela i
5. izbor akcije u skladu sa postavljenim kriterijumima – faza primjene rješenja.

Prema Nikolić i Borović (1996), proces odlučivanja se može posmatrati kroz jedanaest različitih faza. Neposredni proces odlučivanja se odnosi na faze od tri do devet, slika 3.1.



Slika 3.1. Faze u procesu donošenja odluka

Izvor: Nikolić i Borović (1996)

3.2.2. Matematičko modeliranje

Pod matematičkim modelom se podrazumijeva skup matematičkih relacija (formule, logički operatori, jednačine i sl.), pomoću kojih se opisuje funkcionisanje određenog sistema.

Formalno, matematički model je uređena trojka (M, U, f) pri čemu je:

M - matematički model u užem smislu (obično ga čine relacije između pojedinih veličina sistema),

U - skup uslova odnosno ograničenja i

f - kriterijumska funkcija ili funkcija cilja. (Kovačić, 2004; Hot, 2014).

Karakteristike matematičkog modela su (Hot, 2014):

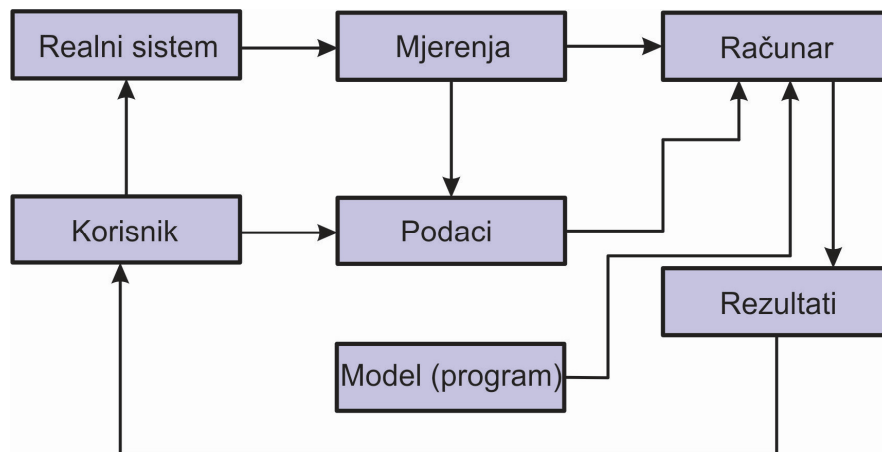
- ◆ model ne može da zamjeni donosioca odluke već se kreira sa ciljem da pomogne u procesu donošenja odluka;
- ◆ model ne daje nove podatke o problemu odlučivanja (sistemu) već se kreira sa ciljem da donosilac odluke razumije funkcionisanje sistema na osnovu informacija koje posjeduje;
- ◆ matematički model predstavlja jednu od mogućih aproksimacija realnog sistema.

Osnovne faze izrade matematičkog modela su (Hot, 2014):

- ◆ definisanje cilja,
- ◆ planiranje istraživanja,
- ◆ formulisanje problema,
- ◆ izrada matematičkog modela,
- ◆ izbor metode rješavanja,
- ◆ programiranje i ispitivanje,
- ◆ prikupljanje podataka,
- ◆ vrednovanje dobijenih rezultata i
- ◆ implementacija dobijenih rezultata.

Ipak, uspjeh rezultata dobijenih matematičkim modelom ne zavisi samo od modela, već i od načina na koji se odluka sprovodi, posebno od procesa analiziranja u cilju donošenja neke nove odluke o istom ili nekom drugom problemu, a koje je uslovljeno promjenama jednog ili više parametara koji su važni za funkcionisanje samog sistema (Marinković, 2015).

„Za matematički model usko su vezane i metode optimizacije. Generalno, svrha optimizacije je izabrati najbolje rješenje iz skupa svih mogućih alternativa u zavisnosti od postavljenih ciljeva. Formalno se optimizacija svodi na određivanje ekstrema kriterijumske funkcije primjenom različitih metoda čiji izbor zavisi od vrste relacija koje se pojavljuju u matematičkom modelu u užem smislu, kriterijumske funkcije i postavljenih uslova. U načelu ovaj se proces odvija upotrebom različitih računarskih programa (slika 3.2)“ (Hot, 2014).



Slika 3.2. Međusobni odnosi činilaca sistema

Izvor: Hot, (2014)

3.3 Osnovni pojmovi multikriterijumskog odlučivanja

Metode multikriterijumske analize su razvijene kao podrška donosiocu odluka u njegovom jedinstvenom procesu odlučivanja. To su metode koje donose kompromisno rješenje problema odlučivanja. To to nisu metode koje dovode do istog rješenja za svakog donosioca odluke. To znači da je u ove metode moguće „ugraditi“ subjektivne preferencije donosioca odluke, što dovodi do kompromisnog rješenja problema odlučivanja.

Multikriterijumsko odlučivanje je disciplina koja obuhvata oblast matematike, menadžmenta, informatike, psihologije, društvenih nauka i ekonomije. Primjena metoda je jako široka, s obzirom da se može koristiti za rješavanje svih problema gdje je potrebo da se donese odluka na bazi više kriterijuma. Takođe, odluke koje se donesu mogu biti strateške ili taktičke, zavisno od vremenske perspektive.

Tokom vremena razvijen je veliki broj metoda multikriterijumskog odlučivanja. Ovaj razvoj je i dalje u toku (*Vallenius et al., 2008*) i broj publikacija je u stalnom porastu. Ovo proširenje je prisutno, između ostalog, i zbog efikasnosti istraživača i razvoja specifičnih metoda za različite vrste problema multikriterijumskog odlučivanja. Softverska dostupnost, ad hoc implementacije, web aplikacije, učinili su metode multikriterijumske metode pristupačnijim i, na taj način, doprinijeli njihovom rastu i većem korištenju.

U opštem slučaju, problemi multikriterijumskog odlučivanja, pa tako i problemi u procesima održivosti energetskih sistema mogu se predstaviti preko matrice odlučivanja:

kriterijumi	C_1	C_2	...	C_n
težine	w_1	w_2	...	w_n
alternative	-----			
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}
A_3	a_{31}	a_{32}	...	a_{3n}
.
A_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}

$A = \left(\begin{matrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{matrix} \right)_{m \times n}$

koja se sastoji od m alternativa i n kriterijuma, pri čemu je:

a_{ij} - vrijednost kriterijuma j u odnosu na alternativu i,

w_j - težinu koeficijenta j,

n - broj kriterijuma i

m - broj alternativa. (Wang et al., 2009)

Proces donošenja odluka multikriterijumskog odlučivanja uključuje definisanje alternativa, kriterijuma, težina kriterijuma i analizu rezultata dobijenih na osnovu matrice odlučivanja. Ovo znači da proces donošenja odluka možemo definisati i kroz četiri glavne faze: formulisanje alternativa i izbor kriterijuma odlučivanja, dodjeljivanje težina kriterijumima, evaluacija i završna obrada.

Preliminarni korak multikriterijumske analize je formulisanje alternativa i kriterijuma. Drugo, dodjeljuju se težine kriterijumima, sa ciljem da se pokaže relativni značaj kriterijuma u procesu odlučivanja. Nakon toga alternative se rangiraju po određenoj metodi multikriterijumskog odlučivanja.

U naredne četiri tačke su predstavljeni ovi koraci multikriterijumske analize respektivno.

3.3.1. Alternative

„Akcija, alternativa ili opcija je ono što donosiocu odluke stoji na raspolaganju, kao mogućnost izbora prilikom donošenja odluke. U praksi se najčešće sreću situacije u kojima na ishod svake pojedine akcije utiču brojni nekontrolisani činioci. Ukoliko bi postojala alternativa koja ima bolje ishode od ostalih, problem izbora bio bi lak. Međutim, alternative izbora u različitim okolnostima imaju različito prihvatljive ishode, zbog čega se problem izbora značajno komplikuje“ (Roljić, Landika i Mikić, 2013).

Početni korak multikriterijumskog odlučivanja je određivanje skupa alternativa. Skup alternativa se može definisati na sljedeći način:

Skup alternativa A je osnovni skup objekata, odluka, kandidata itd. koji se proučavaju u toku procesa odlučivanja. Obično se zadaje ili ispisivanjem tačno svih elemenata skupa A (u slučajevima kada je A konačan skup sa dovoljno malo elemenata za takav ispis) ili zadavanjem jednog ili više svojstava koje zadovoljavaju svi elementi skupa A (u slučajevima kada je A ili beskonačan ili konačan, ali prevelik za ispisivanje) (Kovačić, 2004).

Alternative nude pristup za promjenu početnog stanja u željeno stanje. Na slici 3.3. je predstavljen postupak definisanja alternativa. Donosioci odluka na osnovu procjene uslova, zahtijeva i ciljeva predlažu one alternative koje će zadovoljiti uslove koji će omogućiti ispunjene cilja odlučivanja.



Slika 3.3. Postupak definisanja alternativa

Izvor: Orašanin (2015)

Odabir skupa alternativa ne zavisi samo od problema koji se rješava i elemenata uključenih u proces odlučivanja, već i od cilja odlučivanja, strukture preferencijske funkcije kao i od odabira metode multikriterijumskog odlučivanja (Kovačić 2004, Hot 2014).

3.3.2. Kriterijumi

U procesima odlučivanja učestvuje veliki broj zainteresovanih strana ili grupa i normalno je da sve zainteresovane strane favorizuju svoje sisteme vrijednosti (u ovom slučaju kriterijume), koji najbolje odražavaju njihove želje i interese.

Nakon identifikovanja alternativa, sljedeći korak multikriterijumske analize je izbor kriterijuma. Kriterijumi su parametri koji omogućavaju poređenje alternativa gledano iz određenog ugla.

Značaj kriterijuma uopšte, pa tako i u sistemima korištenja obnovljivih izvora energije, neprocjenjiv je jer je razvijanje kriterijuma i metoda kojima se pouzdano mjeri održivost sistema preduslov za izbor najboljeg rješenja, identifikovanje neodrživih sistema i praćenje uticaja na socijalno okruženje (Wang et al., 2009).

Generalno, sljedeći principi se koriste prilikom odabira "glavnih" kriterijuma koji se koriste u energetske procesima (Wang et al., 2009):

- ◆ **Sistemske princip.** Sistem kriterijuma treba otvoreno da odražava osnovne karakteristike energetske sistema.
- ◆ **Princip dosljednosti.** Sistem kriterijuma treba da bude u skladu sa postavljenim ciljem.

- ◆ Princip nezavisnosti. Kriterijumi ne bi trebalo da budu povezani sa ostalim kriterijumima na istom nivou. Kriterijumi treba da odražavaju performanse alternativa iz različitih aspekata.
- ◆ Princip mjerljivosti. Kriterijumi treba da budu mjerljivi: njihova vrijednost treba da bude izražena ili kvalitativno ili kvantitativno.
- ◆ Princip uporedivosti. Rezultat donošenja odluke je racionalniji kada je uporedivost kriterijuma očigledenija.

U literaturi je definisan veliki broj kriterijuma koji se koriste u energetskim sistemima, u procesima procjene energetske efikasnosti i primjene tehnologija u energetskim sistemima. *Wang et al. (2009)* vrše analizu kriterijuma koji se koriste u sistemima korištenja obnovljivih izvora energije i dijele kriterijume na četiri glavne grupe: tehnički kriterijumi, socijalni kriterijumi, ekonomski i kriterijumi zaštite životne sredine. *Streimikiene et al., (2012)* naglašavaju značaj multikriterijumske analize u procesima procjene održivosti energetskih tehnologija i navode tri grupe kriterijuma: ekonomski, ekološki i socijalni.

Izbor kriterijuma zavisi od više faktora. Uglavnom zavisi od dostupnosti kvalitativnih i kvantitativnih informacija koje se odnose na odabrane kriterijume i od vrste problema koji se proučava. U procesima hidroenergetskog planiranja kriterijumi se mogu podijeliti u nekoliko grupa:

I. Tehnički pokazatelji

Prilikom izbora i ocjene rješenja korištenja vode na jednom vodotoku najčešće se koriste tehnički pokazatelji i to: bruto, odnosno neto raspoloživi pad, instalisana snaga i godišnja proizvodnja. Takođe neophodno je analizirati i mogućnosti i načine povezivanja sa elektroenergetskom mrežom. "Sa gledišta povezivanja hidroenergetskog objekta sa elektroenergetskom (najčešće distributivnom) mrežom nepovoljne su one lokacije kod kojih je priključenje složenije i kod kojih se zahtijevaju veća ulaganja u energetska infrastrukturu (izgradnja novih distributivnih vodova određenog, što višeg naponskog nivoa - 10, 20 i 30 kV)." (*Milovanović i drugi, 2011*).

II. Ekonomski pokazatelji

U okviru privrednog društva, ekonomska održivost se odnosi na strategije koje se fokusiraju na efikasno i odgovorno korištenje resursa, tako da organizacija nastavlja sa radom i stvaranjem profita. Važna dimenzija ekonomske održivosti jeste i dinamička efikasnost – sposobnost da se poboljša efikasnost privrede kroz mogućnost prilagođavanja izmjenama u ekonomskim uslovima i kroz održavanje produktivnosti (*Khan, 2015*).

Pored osnovnih troškova projekta, ekonomski pokazatelji treba da obuhvate i uslove i načine povezivanja sa saobraćajnicama, zatim uslove transporta opreme (kao nepovoljne se uzimaju lokacije na kojima je transport duži, tako da se te lokacije

rangiraju na niža mjesta), da li je potrebno napraviti nove pristupne puteve, da li se lokacije koriste već za određene namjene, da li se nalaze u području nacionalnih parkova ili možda arheoloških lokaliteta i sl.

Ekonomska dimenzija održivosti je veoma važna jer su troškovi snabdijevanja električnom energijom glavni faktor koji utiče na prodor na tržišta (*Streimikiene et al., 2012*). Pored toga, ekonomski pokazatelji procjenjuju ukupan, ne samo ekonomski, nego i socijalni uticaj koji je povezan sa projektom, kao što su stvaranje novih radnih mjesta i preduzeća. Za većinu vlada, otvaranje novih radnih mjesta je centralni motiv za razvoj i obnovljivih izvora energije.

III. Socijalna prihvatljivost projekta

Socijalni aspekt je veoma bitan u procesima izgradnje energetskih objekata. Društvena prihvatljivost, odnosno mišljenje javnosti vezano za izgradnju energetskog sistema od strane lokalne zajednice, u velikoj mjeri utiče na vrijeme koje je potrebno za realizaciju izgradnje projekta. Treba uzeti u obzir i činjenicu da izgradnja hidroenergetskog objekta stvara nova radna mjesta, i to u toku čitavog životnog ciklusa, od izgradnje do eksploatacije objekta.

IV. Zaštita životne sredine

Životna sredina i privreda se trebaju posmatrati kao jedan povezani sistem sa metodologijom vrednovanja u kojoj su ekološki i ekonomski parametri jednako bitni. Danas, vlade i države moraju da preuzmu hitne mjere vezane za izazove sa kojima se suočavaju, a odnose se na zagađenje, porast temperature, nestašicu vode i sl.

Rastuća svijest o životnoj sredini dovodi do zaključka da je potrebno da se uspostavi instrument za zaštitu životne sredine u svim segmentima, i na taj način, smanji negativan uticaj ljudske aktivnosti na životnu sredinu.

Korištenje obnovljivih izvora energije daje značajan doprinos u zaštiti životne sredine i to kroz smanjenje emisije ugljen-dioksida, zagađenje okoline zbog povećanja količine smoga ili pak kroz globalno zagrijavanje – što se danas smatra najzaglašenijim negativnim efektom fosilnih goriva.

Iako nemaju veliki štetan uticaj na životnu sredinu, treba prihvatiti činjenicu da izgradnja hidroenergetskih objekata ipak ima određenog uticaja na životnu sredinu, koji nije uvijek zanemarljiv. Ovi uticaji se mogu podijeliti na nekoliko grupa:

◆ Građevinski uticaji

Odnosi se na uticaje koji su vezani za izgradnju hidroenergetskog objekta, uključujući zemljište, izgradnju i održavanje puteva i izgradnju samog objekta. Takođe su nezanemarivi uticaji koji se odnose na promjenu toka rijeke, na smanjen protok, na postojanje prepreka i akumulacija. U cilju ublažavanja nekih od ovih uticaja, preporučuje se npr. da se poslovi iskopavanja izvode u toku suve sezone;

u cilju zaštite od erozije preporučuje se da se obnovi i ojača riječna obala na dijelu koji je oštećen tokom izgradnje objekta.

◆ Biološki uticaji

Smanjenje protoka u području ispred i ispod brane može da utiče na život riba u rijeci. Takođe, česte promjene u vodostaju mogu značajno da utiču i na ostale vodene organizme. Zbog svega navedenog, neophodno je da se ostvari dobra komunikacija inženjera i biologa, i da se razumiju karakteristike svake pojedinačne lokacije.

◆ Pejzažni uticaj

Svaka od komponenti koje čine hidro šemu ima potencijal da stvori promjenu na vizuelni uticaj lokacije uvođenjem suprotnog oblika, linija, boja ili tekstura. Dizajn, lokacija ili pojava bilo koje funkcije, mogu dobro odrediti nivo javnog prihvatanja za čitav projekat.

3.3.3. Određivanje težinskih faktora

U problemima multikriterijumskog odlučivanja jedan od ključnih problema predstavlja određivanje težina kriterijuma.

Relativni značaj ili težine kriterijuma ukazuju na prioritet koji je dodjeljen kriterijumima od strane donosioca odluke, a u cilju rangiranja alternativa u procesima analize. Za procjenu stepena važnosti kriterijuma u literaturi su dostupne mnoge metode. Neke od njih zavise od donosioca odluke ili se mišljenje traži od grupe eksperata (subjektivne metode) ili je, pak, kao kod objektivnog pristupa određivanja težina, težište na analizi matrice odlučivanja, razmatraju se vrijednosti varijanti u odnosu na skup kriterijuma, kako bi se na osnovu toga dobila informacija o vrijednostima težina kriterijuma.

Ako sa w_j ($j=1,2,\dots,n$) označimo težinu koja pripada j -tom kriterijumu, težinu kriterijuma je potrebno normalizovati što znači da treba da vrijedi:

$$0 \leq w_j \leq 1 \text{ i}$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1.$$

Ne postoji jedinstvena podjela metoda za određivanje težina kriterijuma. Wang et al., (2009) dijele metode za dodjeljivanje težina kriterijuma u sistemima korištenja obnovljivih izvora energije na metode jednakih koeficijenata i metode rangiranja. Metode rangiranja se dalje dijele na subjektivne i objektivne. Kao najčešće korištena subjektivna metoda navodi se AHP (Analytic Hierarchy Process), a objektivna metoda entropije, (tabela 3.1.).

Tabela 3.1. Pregled najčešće korištenih metoda za određivanje težina koeficijenata u sistemima korištenja obnovljivih izvora energije (Wang et al., 2009)

Metode jednakih težina	-	
Metode rangiranja	Subjektivne	AHP Simos metoda
		Metode parcijalno parnog poređenja
		Ostale
	Objektivne metode	Metoda entropije
	Kombinacije subjektivnih i objektivnih metoda	

3.3.3.1. Metode jednakih težina (Equal weights method)

Po ovoj metodi težine su iste za sve kriterijume:

$$w_i = \frac{1}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Ova metoda zahtijeva minimalno znanje o značaju pojedinih kriterijuma na ukupni proces donošenja odluka. Metoda je postala posebno popularna u procesima donošenja odluka otkad su se *Dawes i Corrigan 1974.* složili da je to metoda kojom se mogu dobiti dosta dobri rezultati. Metoda jednakih težina je najpopularnija metoda za dodjeljivanje težinskih koeficijenata u procesima donošenja odluka u sistemima održivih energetske sistema (Wang et al., 2009).

3.3.3.2 Metode rangiranja

Metode rangiranja se mogu podjeliti na tri grupe i to (Wang et al., 2009):

- ◆ subjektivne metode za dodjeljivanje težinskih faktora,
- ◆ objektivne metode za dodjeljivanje težinskih faktora,
- ◆ kombinacija subjektivnih i objektivnih metoda za dodjeljivanje težinskih faktora.

Subjektivni pristup određivanju težinskih faktora se zasniva na odluci eksperata koji daju svoje mišljenje o značaju kriterijuma za dati proces odlučivanja, a u skladu sa

svojim sistemom preferentnosti. Ovo znači da izmjereni kvantitativni podaci ne utiču na proces donošenja odluka. Kod objektivnog pristupa, određivanje težinskih faktora se vrši primjenom matematičkog metoda zasnovanog na analizi početnih podataka. Kao što se vidi, niti jedan od ova dva pristupa nije savršen. Može se zaključiti da bi integrisani metod mogao dati najpogodnije rezultate.

Subjektivne metode određivanja težinskih faktora, kao što su metode parcijalno-pannog poređenja, AHP i SIMOS metoda, metode su koje se najčešće koriste u procesima multikriterijumskog odlučivanja u energetske sistemima (Wang et al., 2009). U nastavku će se kratko opisati navedene metode sa naglaskom na AHP metodu, kao najviše korištenu subjektivnu metodu, koja se istovremeno koristi u modelu predstavljenom u ovoj disertaciji.

I. Metode parcijalno parnog poređenja (Pair-wise comparison)

Kod ove metode, određivanje težinskih faktora kriterijuma se zasniva na parnom poređenju kriterijuma. Kao pomoć u određivanju se koristi ordinalna skala poređenja. Kao primjer možemo navesti skalu od 0 (jednaka važnost) do 3 (apsolutno veća važnost), kao jednu od najčešće korištenih skala poređenja. Nakon toga se vrši normalizacija težina.

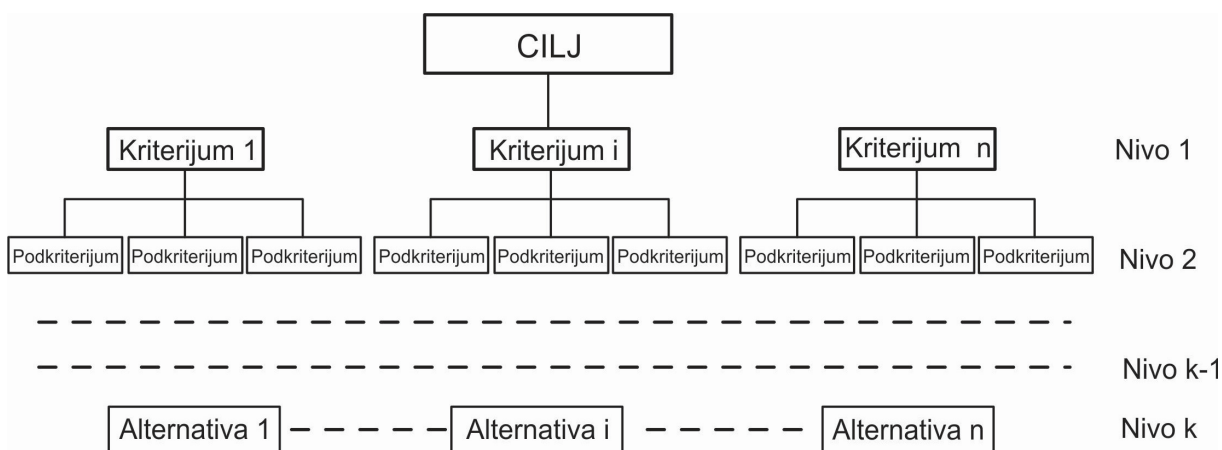
II. AHP metoda

Analitički hijerarhijski proces (AHP) je jedna od metoda multikriterijumskog odlučivanja. To je metoda koja omogućava da se složeni problem odlučivanja razvije u hijerarhiju koja pokazuje odnos između cilja odlučivanja, kriterijuma, podkriterijuma i alternative. AHP se sastoji od nekoliko koraka: formiranje hijerarhije odlučivanja, poređenje u parovima, određivanje vektora sopstvenih vrijednosti, određivanje konzistentnosti.

Analitički hijerarhijski proces (AHP) je najčešće korištena metoda multikriterijumskog odlučivanja u sistemima primjene obnovljivih izvora enegije (Wang et al., 2009). Metoda se zasniva na sljedećim aksiomima (Srđević i Jandrić, 2000):

- i. *Aksiom recipročnosti*: Ako je element A n puta značajniji od elementa B, tada je elemente B $1/n$ puta značajniji od elementa A.
- ii. *Aksiom homogenosti*. Elementi poređenja se ne bi trebali razlikovati previše. Poređenje ima smisla jedino ako su elementi uporedivi.
- iii. *Aksiom očekivanja*. Svaka promjena u strukturi hijerarhije zahtijeva ponovno računanje prioriteta u novoj hijerarhiji.
- iv. *Aksiom zavisnosti*. Dozvoljava se poređenje među grupom elemenata jednog nivoa u odnosu na element višeg nivoa, tj. poređenja na nižem nivou ne zavise od prioriteta ili težina na nižem nivou hijerarhije.

S obzirom na složenost problema koje obuhvataju metode multikriterijalne analize, problem odlučivanja se najprije struktuirao po hijerarhiji. Na vrhu hijerarhije se nalazi cilj, dok su kriterijumi, podkriterijumi i alternative na nižem nivou hijerarhije (slika 3.4.).



Slika 3.4. Opšti hijerarhijski model AHP

Izvor: Orašanin (2015)

Sljedeći korak je poređenje u parovima. U AHP metodi postoje dvije vrste poređenja. Prvo su poređenja kriterijuma radi dobijanja prioriteta, odnosno težinskih faktora kriterijuma. Drugi tip poređenja je između alternativa i njen cilj je dobijanje ranga alternativa. U poređenju se koristi ordinalna Satijeva skala poređenja. Ona se definiše kao skala koja ima pet stepeni intenziteta i četiri međustepena (tabela 3.2).

Tabela 3.2. Satijeva skala (Srđević i Jandrić, 2000)

Značaj	Definicija	Objašnjene
1	Isti značaj	Dva elementa su istog značaja u odnosu na postavljeni cilj
3	Slaba dominantnost	Neznatno se favorizuje jedan element u odnosu na drugi na osnovu iskustva ili rasuđivanja
5	Jaka dominantnost	Znatno se favorizuje jedan element u odnosu na drugi na osnovu iskustva ili rasuđivanja
7	Demonstrirana dominantnost	Dominantnost je potvrđena u praksi
9	Apsolutna dominantnost	Dominantnost najvišeg stepena
2,4,6,8	Međuvrijednosti	Potreban kompromis

Rezultati poređenja se smještaju u matricu poređenja A:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}_{m \times n}$$

pri čemu su osnovna svojstva matrice A:

$$a_{ii} = 1; a_{ji} = 1/a_{ij} \text{ i } \det A \neq 0.$$

Sledeći korak je određivanje vektora sopstvenih vrijednosti matrice poređenja, nakon čega se dodjeljuju težinske vrijednosti kriterijumima na osnovu izračunatog vektora sopstvenih vrijednosti. Na osnovu rezultata ovog koraka, svaki kriterijum dobija odgovarajući težinski koeficijent kojim se definiše njegova relativna vrijednost u odnosu na cilj.

Pomoću indeksa konzistentnosti

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{n - 1}$$

kao mjere konzistentnosti odstupanja n od λ_{\max} , može se izračunati odnos konzistentnosti

$$CR = \frac{CI}{RI},$$

gdje je

RI - slučajni indeks (*Hunjak, 1997*).

Ukoliko konačna konzistentnost (CR) prelazi granicu 0,1, proces je potrebno ponoviti, kako bi se poboljšala dosljednost donosioca odluke.

AHP je metoda multikriterijumskog odlučivanja koja ima određene prednosti u odnosu na ostale metode.

Objektivne informacije, stručno znanje i subjektivne preferencije se pomoću AHP metode mogu razmatrati skupno i istovremeno. Pored toga u obzir se mogu uzeti i kvalitativni kriterijumi, dok ostale metode obično traže kvantitativne kriterijume za izbor neke od alternativa (*Šporčić i drugi, 2010*). Prednosti ove metode su i u tome što omogućuje analizu osjetljivosti postupka vrednovanja. Pored toga u toku čitave procedure i sinteze rezultata, provjerava se konzistentnost rezonovanja donosioca odluka i utvrđuje se ispravnost dobijenih rangova alternativa i kriterijuma, i njihovih težinskih vrijednosti.

III. Metoda entropije

Određivanje težine kriterijuma prema metodi entropije zasniva se na mjerenju neodređenosti informacija koje su smještene u matrici odlučivanja. Ona određuje težine kriterijuma na osnovu određivanja kontrasta između vrijednosti kriterijuma posebno, a nakon toga i za sve kriterijume istovremeno. Određivanje težina kriterijuma se odvija u tri koraka:

Prvi korak je normalizacija kriterijumskih vrijednosti matrice odlučivanja na osnovu obrazca:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}.$$

Drugi korak je određivanje stepena divergencije d_j

$$d_j = 1 - e_j,$$

pri čemu je

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n r_{ij} \cdot \ln r_{ij}.$$

Treći korak je određivanje konačnih težina kriterijuma

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j}.$$

“Metoda se može smatrati objektivnom jer generiše težinske vrijednosti kriterijuma direktno iz kriterijumskih vrijednosti varijanti i eliminiše problem subjektivnosti, nekompetentnosti ili odsustva donosioca odluke. Takođe, nisu bitni ni priroda ni tip kriterijuma” (Milićević i Župac, 2012).

3.4. Metode multikriterijumskog odlučivanja

Metode multikriterijumskog odlučivanja se mogu podijeliti na tri osnovne grupe (Priyabrata et al., 2014):

- ◆ Metode kompromisa (*Distance Based Methods*) u koje spadaju TOPSIS, VIKOR i sl;
- ◆ Metode rangiranja (*Outranking Methods*) - Promethee, Electre i sl. i
- ◆ Metode korisnosti (*Priority or Utility Based Method*) kao što su AHP i metoda adaptivnih težinskih faktora.

Roljić i drugi (2013) dijele metode multikriterijumskog odlučivanja na tri osnovne grupe:

- ◆ metode multikriterijumskog odlučivanja, na bazi funkcije korisnosti (AHP) koje različite kriterijume (attribute, tačke gledišta) skupljaju u jedan globalni kriterijum - funkcija korisnosti.
- ◆ metode evropske (francuske) škole multikriterijumskog odlučivanja, na bazi rangiranja odnosa (npr. ELECTRE, PROMETHEE, koje uzimaju u obzir neuporedivost između varijanti), i
- ◆ interaktivne metode multikriterijumskog rangiranja (npr. STEM).

U tabeli 3.3. su date prednosti i nedostaci nekih metoda multikriterijumskog odlučivanja, kao i oblasti u kojima se najčešće koriste (Velasquez and Hester, 2013).

Tabela 3.3. Pregled MCDA metoda (Velasquez and Hester, 2013).

Metoda	Prednosti	Nedostaci	Oblast korištenja
MAUT	Uzima u obzir i nesigurnost. Može uključiti preferencije donosioca odluke.	Potreban je veliki broj ulaza. Preferencije moraju biti striktno.	Ekonomija, finansije, upravljanje energijom, poljoprivreda
AHP	Jednostavna; ukazuje na nekonzistentnost donosioca odluke; Integriše kvalitativne i kvantitativne podatke	Problemi zbog međuzavisnosti između kriterijuma i alternativa mogu dovesti do nedosljednosti; Nedovoljno velika skala	Korporativna politika i strategija, javna politika, planiranje.
PROMETHEE	Jednostavna u koncepciji i primjeni; ne zahtjeva pretpostavka da su kriterijumi proporcionalni.	Nije definisan način dodjeljivanja težina kriterijumima; ne pruža mogućnost razlaganja problema odlučivanja	Zaštita životne sredine, hidrologija, menadžment, biznis, finansije, logistika i transport, montaža, poljoprivreda, energija...
ELECTRE	Integriše kvalitativne i kvantitativne kriterijume; Može imati teorijski neograničen broj kriterijuma.	Nemogućnost primjene u problemima u kojima relacija preferencije nije unaprijed određena	Energija, ekonomija, zaštita životne sredine, vodoprivreda transport.

Neki autori su u procesima multikriterijumske analize koristili kombinaciju različitih metoda. Najviše korišteni metod je AHP, kao kombinacija sa drugim metodama, npr.

AHP metoda i PROMETHEE (Macharis et al., 2004; Dagdeviren, 2008; Draginić i Maković, 2013). Pravilna kombinacija više metoda može biti vrlo povoljna. Takva integracija će pomoći da se iskoriste prednosti oba načina. Mada obje metode imaju neka ograničenja, njihova ograničenja mogu biti komplementarna (Loken, 2007).

Roljić i drugi (2013) navode kao najbolje metode multikriterijumskog rangiranja ELECTRE, PROMETHEE i AHP metode. Takođe, kao osnovi cilj ovih metoda navode određivanje prioriteta između pojedinih alternativa ili kriterijuma u situacijama kada postoji veći broj donosilaca odluka i u situacijama kada je pristutan veći broj kriterijuma.

U procesima energetske planiranja (kao što su procesi planiranja energetskih projekata, alokacije energetskih objekata, menadžmenta, transporta energije, i sl.) Pohekar i Ramachandran (2004) navode nekoliko metoda multikriterijumske analize. Među njima su AHP metoda i Promethee metoda.

3.4.1. PROMETHEE metoda

PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation) spada u novije metode multikriterijumske analize. „Nastala je iz razloga što su metode multikriterijumskog odlučivanja mogle koristiti samo za kvantitativne podatke i stoga se nisu mogle dobro primjenjivati u slučajevima gdje postoje kvalitativne informacije (kao što se događa u realnim situacijama ili prilikom odabira projekta)“ (Klanac, Perković, Krajnović, 2013).

Metoda je predstavljena od strane Bransa i temelji se na upoređivanju alternativa kroz svaki kriterijum, kako bi se utvrdila preferencija jedne alternative u odnosu na drugu.

U poslednjih nekoliko decenija, Promethee metoda je privukla veliku pažnju naučnika i praktičara. Behzadian et al. (2010) navode prednosti i oblasti primjene Promethee metode. Metoda se uspješno primjenjuje u oblastima upravljanja zaštitom životne sredine, hidrologije i vodoprivede, biznisa i finansijskog menadžmenta, hemije, transporta, proizvodnje, upravljanja energijom, socijalnim i drugim temama.

Razvijeno je šest Promethee metoda od kojih su najznačajnije Promethee I (parcijalno rangiranje) i metoda Promethee II (potpuno rangiranje).

Promethee metoda polazi od matrice odlučivanja u kojoj se N alternativa $A = [a_1, a_2, \dots, a_N]$ poredi po P kriterijuma $C = [c_1, c_2, \dots, c_P]$ poređenja. Alternative se porede u parovima za svaki kriterijum posebno. Na osnovu devijacije $d_j(a, b)$ odnosno razlike u vrednovanju alternative a_1 u odnosu na alternativu a_2 određuje se preferencija (prihvatljivost) izražena brojem iz intervala $(0, 1)$.

Preferencija alternative a_1 u odnosu na alternativu a_2 po kriterijumu c_j određuje se preko funkcije preferencije $P_j(a_1, a_2)$, koja predstavlja preferenciju kao funkciju devijacije između alternative a_1 i a_2 po određenom kriterijumu

$$P_j(a_1, a_2) = F_j[d_j(a_1, a_2)] = F_j[c_j(a_1) - c_j(a_2)]$$

gdje je

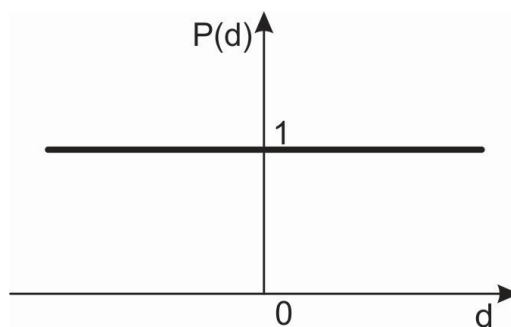
F_j – funkcija devijacije koja osigurava $0 \leq P_j[a_1, a_2] \leq 1$.

Definisano je šest funkcija preferencije za kriterijume i to:

Tip I: Običan kriterijum

U ovom slučaju je:

$$P_j(a, b) = \begin{cases} 0, & d(a_1, a_2) \leq 0 \\ 1, & d(a_1, a_2) > 0 \end{cases}$$



Slika 3.5. Grafik funkcije običnog kriterijuma

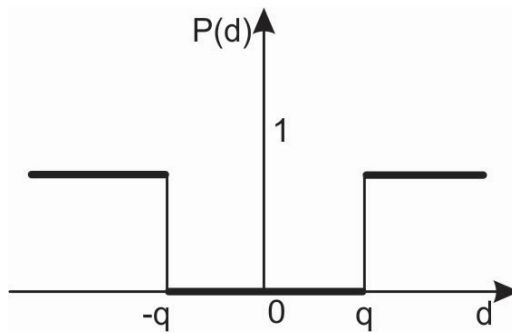
Izvor: Brans (1983)

U ovom slučaju postoji indiferencija između alternativa a_1 i a_2 samo ukoliko je $c_j(a_1) = c_j(a_2)$. U suprotnom slučaju, postoji stroga preferencija za alternativu koja ima najveću vrijednost.

Tip II: Kvazi kriterijum (U-shape Criterion)

U ovom slučaju je:

$$P_j(a, b) = \begin{cases} 0 & d(a_1, a_2) \leq q \\ 1 & d(a_1, a_2) > q \end{cases}$$



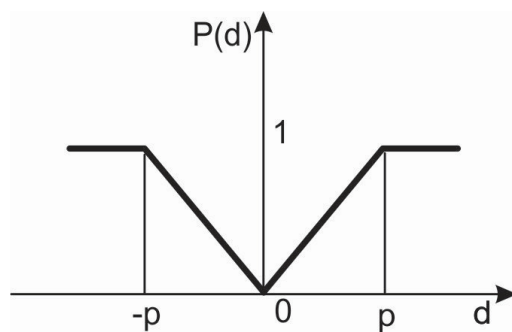
Slika 3.6. Grafik funkcije kvazi kriterijumima
Izvor: Brans (1983)

U ovom slučaju indiferencija između alternativa a_1 i a_2 postoji sve dok razlika između njihovih vrijednosti ne pređe vrijednost q . Nakon toga radi se o strogoj preferenciji. Donosilac odluke određuje vrijednost q .

Tip III: Kriterijum s linearnom preferencijom (V-shape Criterion)

U ovom slučaju je:

$$P_j(a,b) = \begin{cases} \frac{d(a_1, a_2)}{p} & d(a_1, a_2) \leq q \\ 1 & d(a_1, a_2) > q \end{cases}$$



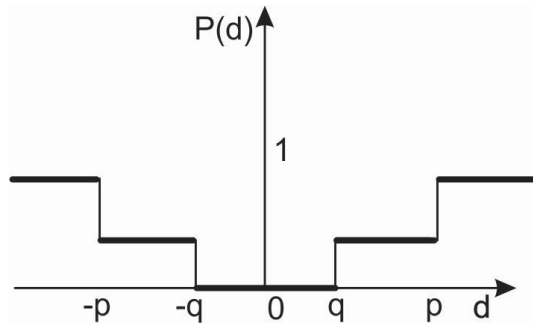
Slika 3.7. Grafik funkcije sa linearnom preferencijom
Izvor: Brans (1983)

U ovom slučaju preferencija raste linearno p sve dok devijacija ne dostigne vrijednost q , nakon čega nastaje stroga preferencija. Potrebno je odrediti vrijednost q .

Tip IV: Kriterijum s nivoima konstantne preferencije (Level Criterion)

U ovom slučaju je:

$$P_j(a,b) = \begin{cases} 0 & d(a_1, a_2) \leq q \\ \frac{1}{2} & q < d(a_1, a_2) \leq q+p \\ 1 & d(a_1, a_2) > q+p \end{cases}$$



Slika 3.8. Grafik funkcije sa nivoima konstantne preferencije

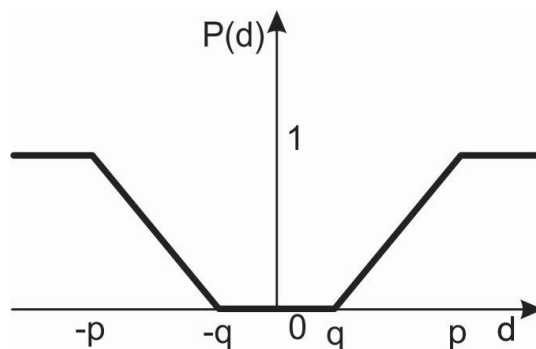
Izvor: Brans (1983)

U ovom slučaju alternative a_1 i a_2 su indiferentne sve dok devijacija između $c_j(a_1)$ i $c_j(a_2)$ ne dostigne vrijednost q . U intervalu između q i $q+p$ preferencija je slaba $1/2$, a nakon ovog interval preferencije postaje striktan. Donosilac odluke treba da odredi vrijednosti p i q .

Tip V: Kriterijum s linearnom preferencijom i područjem indiferencije (V-shape with indifference Criterion)

U ovom slučaju je:

$$P_j(a,b) = \begin{cases} 0, & d(a_1, a_2) \leq q \\ \frac{d(a_1, a_2) - q}{p - q}, & q < d(a_1, a_2) \leq p \\ 1, & d(a_1, a_2) > p \end{cases}$$



Slika 3.9. Grafik funkcije kriterijuma sa linearnom preferencijom i područjem indiferencije

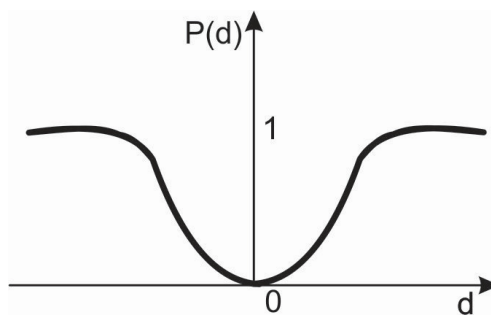
Izvor: Brans (1983)

U ovom slučaju alternativa donosilac odluke smatra da su a_1 i a_2 indiferentne sve dok devijacija između $c_j(a_1)$ i $c_j(a_2)$ ne dostigne vrijednost q . Nakon toga, preferencija raste linearno sve dok devijacija ne dostigne vrijednost p .

Tip VI: Gausov kriterijum (Gaussian Criterion)

U ovom slučaju je:

$$P_j(a,b) = \begin{cases} 0, & d(a_1, a_2) \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d(a_1, a_2)}{2\sigma^2}}, & d(a_1, a_2) > 0 \end{cases}$$



Slika 3.10. Grafik funkcije Gausovog kriterijuma
Izvor: Brans (1983)

U ovom slučaju potrebno je odrediti parametar normalne distribucije. Osim funkcije preferencije potrebno je odrediti težine kriterijuma. Težine w_j predstavljaju relativnu važnost (značaj) određenog kriterijuma. Veća težina dodijeljena kriterijumu označava njegovu veću važnost. Težine treba dodijeliti tako da one predstavljaju prioritete za određeni problem.

U cilju da se odredi stepen u odnosu na koji se jedna alternativa preferira u odnosu na drugu uzimajući u obzir sve kriterijume, indeks preferencije Π se računa za svaki par alternativa. Indeks preferencije $\Pi(a_1, a_2)$ alternative a_1 u odnosu na alternative a_2 se računa kao:

$$\Pi(a_1, a_2) = \frac{\sum_{j=1}^P P_j(a_1, a_2) w_j}{\sum_{j=1}^P w_j}$$

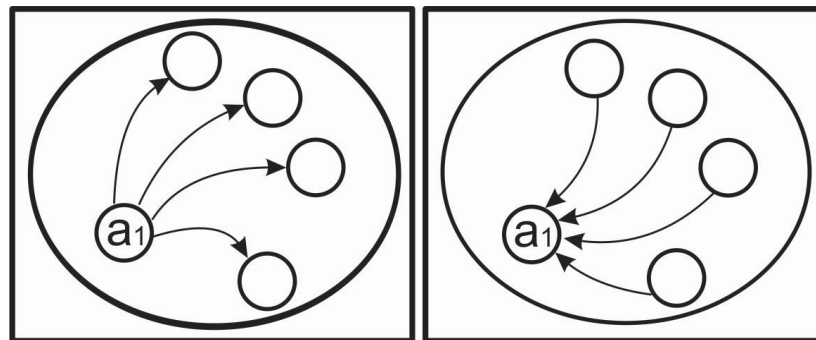
Indeks preferencije je broj između 0 i 1 i predstavlja stepen koliko je alternative a_1 preferira u odnosu na alternative a_2 uzimajući u obzir sve kriterijume. Između dvije aktivnosti (alternative) a_1 i a_2 postoje dva luka koji imaju vrijednosti $\Pi(a_1, a_2)$ i $\Pi(a_2, a_1)$. Svaka od alternativa usmjerena je prema $N-1$ drugih alternativa. Definišimo sada ulazni i izlazni tok. Izlazni tok je zbir vrijednosti izlaznih lukova:

$$\phi^+(a_1) = \frac{1}{N-1} \sum_{b \in A} \Pi(a_1, b) - \text{pozitivni tok,}$$

a ulazni tok je zbir vrijednosti ulaznih lukova:

$$\phi^-(a_1) = \frac{1}{N-1} \sum_{b \in A} \Pi(b, a_1) - \text{negativni tok.}$$

Izlazni tok $\phi^+(a_i)$ pokazuje dominaciju alternative a_i nad drugim alternativama, što znači da, što je ϕ^+ veće, to je alternativa bolja. Ulazni tok pokazuje dominaciju drugih alternativa u odnosu na datu tako da što je ϕ^- manje, to je alternativa bolja (slika 3.11).



Slika 3.11. Tokovi Promethee metode

Izvor: Klanac, Perkov i Krajnović (2013)

Parcijalno poređenje (Promethee I)

Na osnovu ulaznih i izlaznih tokova moguće je da se dobije parcijalni poredak alternativa. Kao što je već rečeno, što je veći izlazni tok, to je alternativa bolja i data alternativa dominira u odnosu na ostale alternative. Isto tako, što je ulazni tok manji, to manje ostale aktivnosti dominiraju u odnosu na alternativu. Nedostatak može da bude nedosljednost.

Potpuno rangiranje (Promethee II)

Poslednji korak Promethee metode je izračunavanje neto toka:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a).$$

Promethee II rangira sve aktivnosti (alternative) iz skupa A. Ovaj odnos je siromašniji u informacijama u odnosu na Promethee I zbog balansiranja efekata u ulaznim i izlaznim tokovima.

4. Model multikriterijumskog odlučivanja u procesima planiranja i rada malih hidroelektrana

Hydroenergetski projekti su kompleksni sistemi sastavljeni od velikog broja međusobno zavisnih elemenata, čije je djelovanje evidentno od proizvodnje do distribucije dobijene energije. Stoga održiv razvoj hidroenergetskih sistema, a time i sistema malih hidroelektrana, podrazumijeva povezivanje i analizu velikog broja različitih, često konfliktnih, parametara.

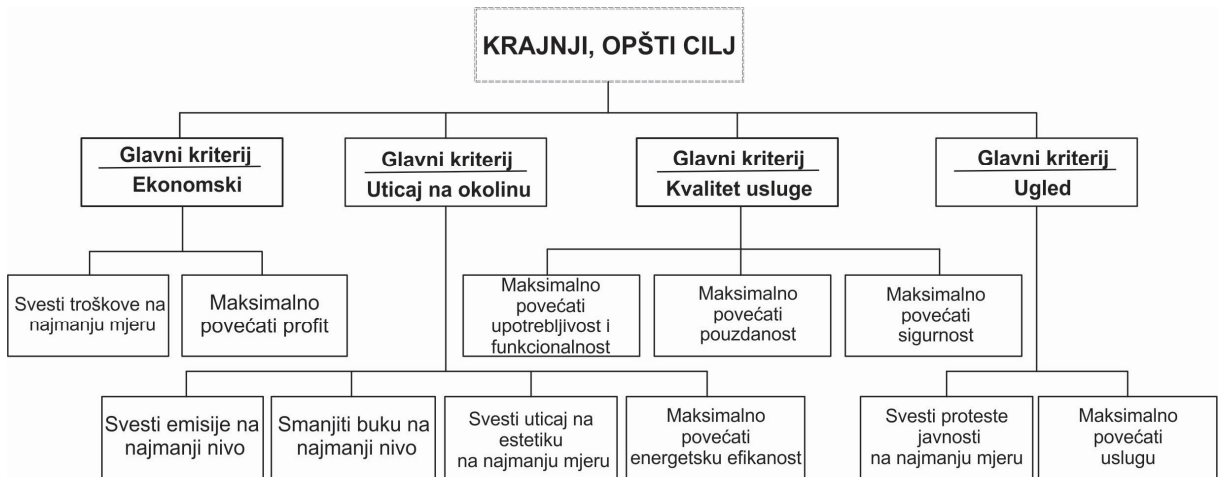
U procesu planiranja i rada energetske sistema glavni ciljevi se mogu sažeti u dva osnovna i to (*Loken, 2007*):

- efikasan i održiv proces snabdijevanja društva energijom i
- obezbijediti sisteme snabdijevanja i infrastrukturu koja će omogućiti snabdijevanje energijom po prihvatljivim troškovima i bez negativnog uticaja na životnu sredinu.

Iz ciljeva planiranja i rada proizilazi zaključak da proces izgradnje energetske sistema podliježe mnoštvu suprotstavljenih ciljeva. Opšti cilj se može formulirati i kao "maksimiziranje blagostanja društva". Međutim, ovaj cilj važi samo za državne organe i društvenu zajednicu. S druge strane, cilj investitora jeste profit zasnovan na izvoru energije (posebno ako su u pitanju privatna preduzeća).

Opšti ciljevi se dalje mogu podijeliti na niže, konkretnije ciljeve, koji se dalje razlažu na kriterijume koji su potrebni da bi se ostvarili zadati ciljevi. Primjer hijerarhije ciljeva energetske sistema je prikazan na slici 4.1.

Kao što se vidi sa slike opšti cilj se može podijeliti na podciljeve (odnosno kriterijume), u ovom slučaju ekonomske, ekološke, kvalitet usluge i ugled. Oni se dalje dijele na niže ciljeve, čijim ostvarivanjem se ostvaruju i ciljevi na višim nivoima hijerarhije.



Slika 4.1. Hijerarhija ciljeva

Izvor: Loken (2007)

Iz navedene hijerarhije se vidi da razvoj hidroenergetskih projekata ne zavisi samo od ekonomskih parametara vezanih za proizvodnju energije. Kako bi se mogli analizirati hidroenergetski projekti, moraju se uzeti u obzir i drugi parametri kao što su: tehnički i socijalni parametri, interesi zainteresovanih strana, a posebno se u posljednje vrijeme naglašava aspekt zaštite životne sredine.

Uticajne parametre razvoja održivih projekata malih hidroelektrana i, inače, energetskih projekata, možemo podijeliti u nekoliko grupa: tehnički parametri, socio-ekonomski parametri i parametri zaštite životne sredine (slika 4.2). Svi navedeni parametri utiču na konačni ishod procesa odlučivanja. Recimo, neadekvatan dizajn i nepravilan izbor određenog parametra može imati negativne uticaje na efikasnost same elektrane (Priyabrata et al., 2014).



Slika 4.2. Održivost sistema obnovljivih izvora energije

Izvor: Priyabrata et al. (2014)

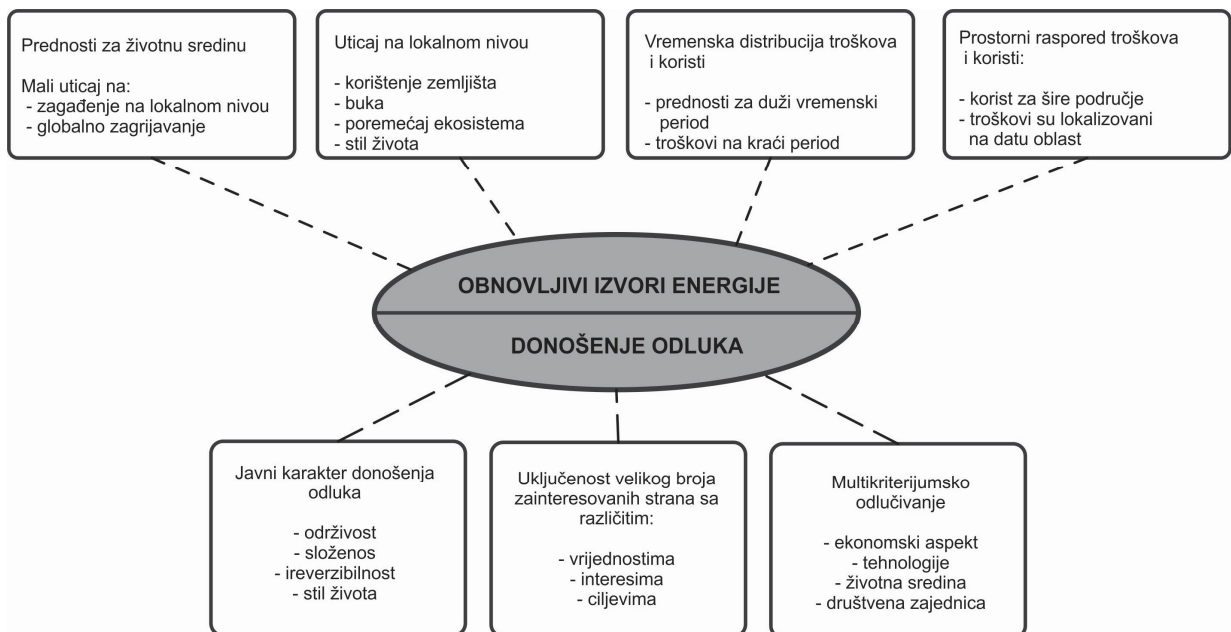
„Održivi razvoj štedi zemljišta, vode, biljni i životinjski svijet, ekološki je prihvatljiv, tehnički prikladan, ekonomski održiv i socijalno prihvatljiv (UNDP-a, 2000; Frej i Linke, 2002; Dudhani et al., 2006)“ (Yüksel, 2007).

Osnovni ciljevi razvoja održivih energetske sistema su (Yüksel, 2007):

- ◆ osigurati sigurnost snabdijevanja energijom,
- ◆ naglasiti značaj korištenja obnovljivih izvora energije,
- ◆ promocija očuvanja energije od strane korisnika,
- ◆ smanjenje emisije gasova staklene bašte i drugih zagađujućih materija i
- ◆ unapređenje ekonomskog razvoja kroz stvaranje novih radnih mjesta i izvoza u oblasti energetike.

Tokom posljednjih decenija korištenje obnovljivih izvora energije je izazvalo ogromno interesovanje i mnoge zemlje su se obavezale da ih uključe u svoje sisteme snabdijevanja energijom (Polatidis et al., 2006). Međutim, njihov doprinos je još uvijek mali u odnosu na konvencionalne izvore energije, uprkos značajnim tehnološkim dostignućima u ovoj oblasti. Glavne su prepreke, vezane za široku primjenu obnovljivih izvora energije u energetske sistemima, kako ekonomske, tako i tehničke, institucionalne i socijalne prirode.

Osim toga, i obnovljivi izvori energije utiču na životnu sredinu na lokalnom nivou (pejzažne promjene, gubitak prijatnosti, buka i sl.). Stoga je, prilikom donošenja odluka u ovim procesima, takođe, potrebno analizirati veliki broj faktora (slika 4.3).



Slika 4.3. Obnovljivi izvori energije i proces donošenja odluka

Izvor: Polatidis et al. (2006)

Prilikom procesa planiranja i rada energetske sistema, treba voditi računa i o interesima zainteresovanih strana koje utiču na proces, počevši od pojedinca, akademskih institucija, vlasti, investitora do organizacija za zaštitu životne sredine. Sve navedene grupe direktno ili indirektno utiču na proces. Znači, prilikom donošenja odluka o projektima, treba imati u vidu interese svih zainteresovanih strana:

- ◆ Država i Evropska unija;
- ◆ Lokalne vlasti;
- ◆ Investitori;
- ◆ Lokalne zajednice;
- ◆ Akademske institucije i
- ◆ Organizacije za zaštitu životne sredine.

Kao i ostali energetske projekti, tako se i projekti planiranja i razvoja malih hidroelektrana mogu posmatrati kao složeni, interdisciplinarni integrisani sistemi, s obzirom da na njihovu realizaciju utiče veliki broj komponenti, različitih karakteristika.

Ovo dovodi do zaključka da se projekti analize potencijala malih vodotokova moraju posmatrati i analizirati kao problem multikriterijumske analize. Izgradnja hidroenergetskih objekata je dugotrajan i kompleksan proces koji sadrži velike neizvjesnosti. Zbog toga je razumijevanje procesa donošenja odluka, njegova

analiza, kao i korištenje određenih tehnika odlučivanja (kao što je multikriterijumsko odlučivanje), od posebnog je značaja za ove procese.

Projekti malih hidroelektrana se generalno smatraju ekološki prihvatljivijim u odnosu na velike hidroelektrane jer ne uzrokuju ozbiljnije krčenje šuma i potapanje većih površina. „Hidroelektrane manjeg obima su ekonomski konkurenti u odnosu na druga energetska postrojenja manjeg obima, naročito ukoliko se lokacije nalaze u blizini potrošača (Ghatt, 2003) i zaista se mogu smatrati održivim ukoliko u potpunosti zadovoljavaju ekološke i socijalne aspekte (Klimt et al., 2002)“ (Yüksel, 2007).

U principu, vrednovanje ili odlučivanje o projektima malih hidroelektrana ili bilo kog njihovog parametra je kompleksna analiza. Upotrebom multikriterijumske analize može se obezbijediti pouzdana metodologija za rangiranje alternativa u prisustvu različitih ciljeva i ograničenja (Priyabrata et al., 2014). „Metode multikriterijumskog odlučivanja su razvijene tako da su fokusirane na donosioca odluka. One se ne bave karakteristikama koje takav problem može posjedovati, nego pomažu donosiocima odluka da shvate dinamiku problema, te nude produktivnu i objektivnu podršku odlučivanju“ (Klanac, Perkov i Krajnović, 2013).

Prema Haralambopoulos i Polatidis (2003); Huang et al. (1995); Lootsma et al. (1990); Siskos i Hubert (1983) upotreba metoda multikriterijumske analize obezbjeđuje pouzdanu metodologiju za rangiranje projekata obnovljivih izvora energije u prisustvu većeg broja ciljeva i ograničenja (Polatidis et al., 2006).

Planiranje energetske sistema korištenjem multikriterijumske analize privlači pažnju donosilaca odluka već duže vrijeme. Tradicionalni jednokriterijumski model se odnosi na rješavanje problema odlučivanja pri postojanju samo jednog kvantitativnog kriterijuma, pomoću koga se mjeri stepen dostizanja postavljenog cilja i ima cilj maksimiziranje koristi uz minimiziranje troškova.

Multikriterijumske metode omogućavaju bolje razumijevanje karakteristika problema, promovišu ulogu učesnika u procesu donošenja odluka, olakšavaju kompromis i kolektivne odluke, i pružaju dodatnu platformu za razumijevanje modela (Pohekar and Ramachandran, 2004).

U postavljenom modelu multikriterijumske analize za procese planiranja i rada malih hidroelektrana u ovom radu integrisane su tri ključne komponente u proces odlučivanja: **ljudi, proces i alati**.

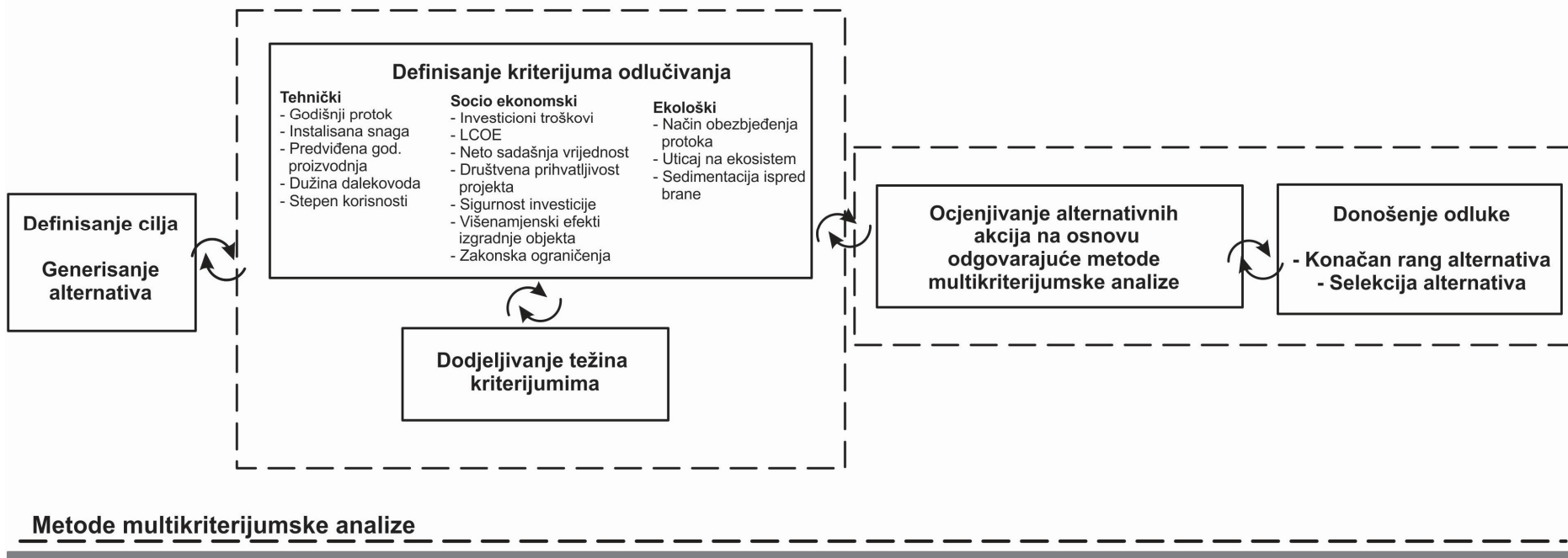
Kao polazni koncept rada poslužio je model sinteze uticajnih faktora odlučivanja u projektima zaštite životne sredine (Kiker et al., 2005), gdje se daje generalizovan okvir za analizu projekata, vezano za zaštitu životne sredine.

Model primjene multikriterijumske analize u procesima planiranja i rada malih hidroelektrana prikazan je na slici 4.4.

Donisioci odluke

Akadske institucije

Zainteresovane strane (društvena zajednica, investitori)



Slika 4.4. Sinteza procesa multikriterijumskog odlučivanja u procesu planiranja i rada malih hidroelektrana

Model ima cilj da predstavi uopšteni model za proces planiranja i rada malih hidroelektrana primjenom multikriterijumske analize. Kao i kod većine procesa donošenja odluka, pretpostavlja se da je okvir modela prikazan na slici iterativan u svakoj fazi tokom čitavog procesa odlučivanja.

Modelom se povezuju ljudi, proces donošenja odluke i alati, kao podrška procesu donošenja odluka.

Ljudi. U modelu su definisane tri osnovne grupe: donosioci odluke, akademske institucije i zainteresovane strane. "Svaka grupa ima svoj način posmatranja svijeta, način na koji predviđa rješenje i svoju socijalnu odgovornost" (*Polatidis et al., 2006*). Kreatori politike i donosioci odluka su najviše skoncentrisani na problem i ukupna ograničenja u odlučivanju. Pored toga, oni mogu imati odgovornost za izbor odluke. Zainteresovane strane daju svoj doprinos u definisanju problema odlučivanja, ali, prije svega, utiču na definisanje kriterijuma odlučivanja i dodjeljivanje težina kriterijumima. U nekim slučajevima zainteresovane strane mogu da imaju odgovornost za rangiranje i odabir finalnih alternativa. Akademske institucije (naučnici i inženjeri) imaju najbitniju ulogu jer oni vrše procjenu alternativa određenom metodom odlučivanja.

Proces. Sa slike se vidi da je proces u centru modela. Proces prate tri cjeline:

- ◆ Utvrđivanje ciljeva i definisanje alternativa. Prvi korak procesa jeste utvrđivanje ciljeva u energetske sektoru. Ovi ciljevi se navode ili se spominju u različitim strateškim i drugim službenim dokumentima.
- ◆ Utvrđivanje kriterijuma za upravljanje. U predhodnim poglavljima su proučavani različiti kriterijumi koji se koriste u različitim oblastima energetskeog planiranja, i na osnovu njih je preporučeno skup kriterijuma koji se koriste prilikom vrednovanja projekata malih hidroelektrana.
- ◆ Rangiranje alternativa na osnovu zadatih kriterijuma odlučivanja i njihovih težina.

Alati. Na sličan način kao i ljudi, različiti alati se koriste u određenim fazama procesa odlučivanja. Odgovarajući alati odlučivanja omogućavaju da se dobiju rezultati procesa odlučivanja. Primjenom određenih alata obezbjeđuju se i korisne grafičke tehnike za vizuelizaciju informacija u razumljivim formatima. Ukoliko dođe do promjene u zahtjevima ili u procesu donošenja odluka, primjenom alata se može efikasno reagovati u cilju nove obrade rezultata sa novim ulazima (*Polatidis et al., 2006*). *Duckestei et al. (1989)* definišu osnovne korake multikriterijumskog odlučivanja u procesu odlučivanja:

- ◆ Definisane problema i utvrđivanje kriterijuma poređenja;
- ◆ Prikupljanje podataka;
- ◆ Definisane alternativa;

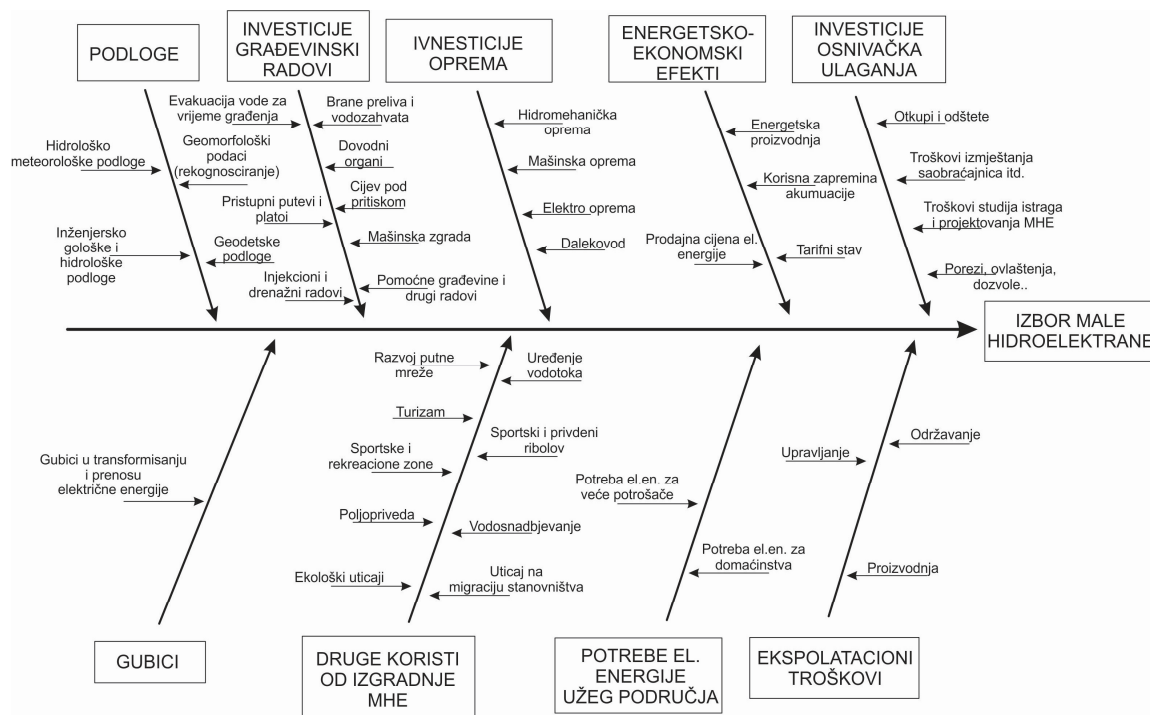
- ◆ Formulisanje matrice odlučivanja (alternative naspram kriterijuma);
- ◆ Izbor metode za rješavanje problema odlučivanja;
- ◆ Izbor jedne ili više najboljih/najpogodnijih alternativa za dalju analizu.

4.1. Izbor kriterijuma i alternativa

Najkritičniji dio multikriterijumske analize je izbor kriterijuma. *Ratković i Stankovski (2003)* definišu parametre koji utiču na izgradnju malih hidroelektrana, slika 4.5.

Kao što se vidi sa dijagrama 4.5. veliki broj parametara utiče na izbor male hidroelektrane. Osnovni parametri za izgradnju su podloge. U podlogama su definisani osnovni podaci o lokaciji za izgradnju male hidroelektrane. Takođe, kako je izgradnja projekta male hidroelektrane odgovoran i skup posao potrebno je da se pravilno odaberu kandidati za projektovanje i izgradnju projekta, tako da je logično da projekat izgradnje treba da bude ekonomičan. Stoga je neophodno voditi računa o svim investicijskim troškovima izgradnje (građevinskih radova, opreme i sl). Ne treba zaboraviti ni troškove kao što su troškovi eksproprijacije, izgradnje dalekovoda, izmještanja saobraćajnica, dalekovoda i sl.

Kao što je iz dijagrama vidljivo, pored tehničko-tehnoloških parametara, prilikom analize, potrebno je uzeti u obzir i aspekte koji se tiču ekonomskih i socijalnih parametara, odnosno kriterijume koji na bilo koji način utiču na donošenje finalne odluke o lokaciji (*Mladineo et al., 1987*). Takođe, državne subvencije, mišljenja javnosti, finansijska korist investitora i podrška lokalnih vlasti (*Tsoutsos et al., 2009*) su parametri koji se moraju uzeti u obzir prilikom procesa planiranja, rada i integrisanja malih hidroelektrana u elektrodistributivni sistem.



Slika 4.5. Dijagram UZROCI - POSLJEDICE za izbor male hidroelektrane

Izvor: Ratković i Stankovski (2003)

Osim prethodno navedenih kriterijuma, postoje i drugi kojima se dodatno smanjuje potencijal, a određeni su konkretnim prostorno-planskim ograničenjima, zaštitom kulturne baštine, međunarodnim i međudržavnim sporazumima i drugim ograničenjima. Primjena svih navedenih kriterijuma, odnosno parametara, rezultira vrijednošću realno iskoristivog potencijala.

Međutim, često se kriterijumi vrednovanja usvajaju, iako ne postoji objašnjenje zašto su relevantni za odabir optimalnog rješenja. Neadekvatan odabir kriterijuma može dovesti do pogrešnog izbora alternativa iz nekoliko razloga:

- ◆ kriterijumi nisu relevantni za dati problem vrednovanja,
- ◆ kriterijumi su neosnovano izdvojeni iz grupe ostalih kriterijuma pa su na taj način dobili veći značaj nego što im pripada ili
- ◆ ako su svi razmatrani kriterijumi relevantni, zbog pogrešne hijerarhije među njima (pogrešnog klasterisanja, grupisanja), pojedini kriterijumi dobijaju veću, a drugi manju težinu od stvarno pripadajuće (*Streimikiene D et al., 2012*).

Wang et al. (2009) daju pregled kriterijuma za analizu projekata multikriterijumske analize u energetske sistemima. U tabeli 4.1. je dat ovaj prikaz.

Tabela 4.1. Pregled kriterijuma u sistemima korištenja multikriterijumske analize u energetske sistemima (Wang et al., 2009)

Grupa kriterijuma	Kriterijumi
Tehnički	Efikasnost
	Eksergetska efikasnost
	Sigurnost

Ekonomski	Investicioni troškovi
	Cijena energije
	Neto sadašnja vrijednost
	Period povrata investicije

Ekološki	Emisija NO _x
	Emisija CO ₂
	Emisija CO
	Korštenje zemljišta
	Buka
	...
Socijalni	Društvena prihvatljivost
	Mogućnost zapošljavanja
	Društvena dobit

Razumljivo je i da je broj kriterijuma i njihovo rangiranje povezano sa ciljevima izgradnje. Na osnovu proučavanja literatur (Wang et al., 2009; Mladineo et al., 1987, Carapellucci et al., 2015; Demetrio et al., 2016;...) definisani su sljedeći kriterijumi, kao najvažniji za procese planiranja i rada malih hidroelektrana:

Tehnički kriterijumi

- Godišnji protok [m^3/s] – osnovni faktor koji ukazuje na kapacitet hidroelektrana. Kvantitativni kriterijum.
- Instalirana snaga [kW] – kvantitativni kriterijum koji ukazuje na potencijal za generisanje električne energije u određenoj oblasti. Ovaj kriterijum je u direktnoj vezi sa hidroenergetskim potencijalom vodotoka.

- Predviđena godišnja proizvodnja električne energije [kWh] - kvantitativni kriterijum koji ukazuje na godišnu proizvodnju energije.
- Dužina dalekovoda [km] – kvantitativni kriterijum koji ukazuje na udaljenost od prenosne mreže koja može da prihvati proizvedenu električnu energiju.
- Stepem korisnosti – kriterijum koji određuje koliko se korisne energije može dobiti od određenog izvora energije. Kod energetske sistema stepem korisnosti je kriterijum koji se najviše koristi. (Wang J. et al., 2009). Kriterijum koji pokazuje da je efikasna upotreba energije od suštinskog je značaja za usporavanje rasta potreba za novim energetske potencijalima. Stepem korisnosti definisan je kao odnos:

$$\eta = \frac{E_{\text{god}}}{E_{\text{br}}}$$

pri čemu je:

E_{god} - godišnja proizvodnja energije i

E_{br} – bruto-potencijal vodotoka

i pokazuje koliko se energije, primjenjujući datu tehnologiju i dispoziciono riješenje objekata na terenu može iskoristiti iz vodotoka koji ima određeni bruto-potencijal (to nije stepem korisnosti elektrane).

Ekonomsko socijalni kriterijumi

- ◆ Troškovi projekta (Carapellucci et al., 2015; Demetrio et al., 2016) – „ključni uticaj na profitabilnost hidroelektrana imaju troškovi izgradnje, koji se dijele na troškove pripreme i građevinskih radova (40-70%), troškove hidromehaničke opreme (1-2%), troškove elektromašinske opreme (20-40%), troškove priključenja na elektro-energetski sistem (<20%), te ostale troškove (administrativne, otkupne, projektne, nadzorne 5-10%), i proizvodnju elektrane“ (Livnjak i Kozar, 2015). Procjena troškova projekta je veoma složena i različiti autori na različite načine dolaze do procjene troškova projekta. Carapellucci et al. (2015) procjenjuju investicione troškove projekta (miliona eura/MW) kao:

$$C_I = \begin{cases} 4500 \cdot P_n^{-0,26} & H_n < 30\text{m} \\ 4150 \cdot P_n^{-0,23} & 30 < H_n < 100\text{m} \\ 3800 \cdot P_n^{-0,2} & H_n > 100\text{m} \end{cases}$$

pri čemu je:

C_I – investicioni troškovi [miliona eura/MW]

P_n – instalisani protok [MW], a

H_n - neto pad [m].

- ◆ Nivelisani troškovi električne energije (LCOE) – predstavljaju ekonomsku procjenu „ukupnog prosječnog troška izgradnje i upravljanja energetske objekta tokom njegovog radnog vijeka podijeljenog sa ukupno proizvedenom električnom energijom tog energetske objekta tokom tog radnog vijeka“ (*Brnabić i Turković, 2015*), a to je cijena električne energije potrebna da bi se pokrili troškovi tokom roka trajanja postrojenja.
- ◆ Neto sadašnja vrijednost (*Wang et al., 2009; Supriyasilp et al., 2009*) – „neto sadašnja vrijednost predstavlja sumu diskontovanih neto-priliva koji se ostvare tokom eksploatacije projekta“ (*Vukčević, 2007*). Realizacija projekta je opravdana ukoliko je neto sadašnja vrijednost projekta veća od nule.
- ◆ Društvena prihvatljivost projekta (*Demirtas, 2013; Supriyasilp et al., 2009*) – kriterijum koji ima najveći uticaj u oblastima sa problemima vodnog resursa, kao što su poplave ili suše, nedostatak vode za poljoprivredu ili problemi sa korištenjem vode. Takođe, mogući su problemi zbog povećanog stepena urbanizacije u datom području. Ovaj kriterijum utiče na prihvatanje razvoja hidroenergetskog projekta od strane lokalnog stanovništva (*Supriyasilp et al., 2009*).
- ◆ Sigurnost investicije – pored tehničke sigurnosti, vrlo je bitna i fizička sigurnost investicije (slika 4.6). Pod pojmom sigurnost investicije podrazumijeva se zaštita od mogućnosti pojave klizišta ili tektonskih pomjeranja, čime bi se ugrozila sigurnost same investicije, ali i mogućnosti promjene toka vode, čime se dolazi do smanjenja proizvodnje. Pored ovog, pod tim pojmom se podrazumijeva i politička sigurnost – ukoliko postoje određeni sukobi u oblasti, projekat hidroelektrane se neće moći razviti.



Slika 4.6. MHE Bogatići na području Trnova gdje je klizište u 2011. godini oštetilo hidroelektranu

Izvor: Livnjak i Kozar (2015)

- ◆ Višenamjenski efekti izgradnje malih hidroelektrana – prilikom utvrđivanja prioriternih lokacija za izgradnju i uopšte planiranje hidroenergetskih objekata, potrebno je valorizovati i višenamjenske efekte izgradnje (obezbjeđenje vode za snabdijevanje stanovništva, navodnjavanje, izgradnja ribnjaka i sl.)
- ◆ Zakonska ograničenja – budući da je glavni faktor za razvoj hidroelektrana kapacitet, lokaliteti hidroelektrana se obično nalaze u šumama koje imaju strmu topografiju. Neke su oblasti zaštićene zakonom. U tom slučaju projekat hidroelektrane se ne može realizovati kao i u slučajevim kada postoje istorijski spomenici ili ostaci drevnih civilizacija.

Tabela 4.2. Vrednovanje kriterijuma zakonska ograničenja

Zakonska ograničenja	Vrijednosti kriterijuma
Postoje ograničenja	Da
Razmatra se mogućnost da lokacije dobiju zaštićeni status	Možda
Nema zakonskih prepreka	Ne

Zaštita životne sredine

- ◆ Način obezbjeđenja protoka – način na koji se obezbjeđuje protok za određenu lokaciju. Lokacije se mogu podijeliti na nekoliko grupa: lokacije na kojima postoji određeni rezervoar i odgovarajuća infrastruktura, lokacije koje su definisane u vodoprivrednim planovima, lokacije na rijekama koje imaju male padove i veliki protok (uglavnom u ravničarskim predjelima), lokacije na kojima se mogu izgraditi protočne hidroelektrane i lokacije za

izgradnju akumulacionih hidroelektrana koje se ne nalaze u vodoprivrednim planovima (Supriyasilp et al., 2009).

Tabela 4.3. Vrednovanje kriterijuma način obezbjeđenja protoka (Supriyasilp et al., 2009)

Način obezbjeđenja protoka	Vrijednosti kriterijuma
Lokacije na kojima postoji određeni rezervoar i odgovarajuća infrastruktura	1
Lokacije koje su definisane u vodoprivrednim planovima	2
Lokacije na rijekama koje imaju male padove i veliki protok (uglavnom u ravničarskim predjelima)	3
Lokacije na kojima se mogu izgraditi protočne hidroelektrane	4
Lokacije za izgradnju akumulacionih hidroelektrana koje se ne nalaze u vodoprivrednim planovima	5

- ◆ Uticaj na eko-sistem – kriterijum koji ukazuje na gubitak staništa za životinjski i biljni svijet ili eventualno postojanje autohtonog habitata na datom području.

Procjena uticaja na životnu sredinu se može provoditi u tri koraka, po metodi matrice za procjenu uticaja, u ovom istraživanju korištena je kombinacija, uključujući i Leopold et al., 1971.

Tabela 4.4. Vrednovanje kriterijuma uticaj na eko-sistem

Procjena uticaja na životnu sredinu	Vrijednosti kriterijuma
Veoma visoka pozitivna	9
Visoka pozitivna	8
Srednje pozitivna	7
Nisko pozitivna	6
Zanemarljiva	5
Nisko negativna	4
Srednje negativna	3

Visoko negativna	2
Veoma visoko negativna	1

- ♦ Sedimentacija ispred brane – projekti rangirani od najmanjeg uticaja na sedimentaciju do lokacija sa najvećim uticajem lokacije se mogu rangirati kako slijedi (Supriyasilp et al., 2009):

Tabela 4.5. Vrednovanje kriterijuma način sedimentacija ispred brane (Supriyasilp et al., 2009)

Sedimentacija ispred brane	Vrijednosti kriterijuma
Lokacije na kojima postoji određeni rezervoar i odgovarajuća infrastruktura	1
Lokacije koje su definisane u vodoprivrednim planovima	2
Lokacije na rijekama koje imaju male padove i veliki protok (uglavnom u ravničarskim predjelima)	3
Lokacije na kojima se mogu izgraditi protočne hidroelektrane	4
Lokacije za izgradnju akumulacionih hidroelektrana koje se ne nalaze u vodoprivrednim planovima	5

U tabeli 4.6 je dat pregled kriterijuma koji su definisani u ovom istraživanju, jedinica mjere, kao i literaturni izvor informacija o kriterijumu.

Tabela 4.6. Pregled kriterijuma za proces planiranja i rada malih hidroelektrana

Grupa kriterijuma	Oznaka	Kriterijum	Jedinica		Izvor informacija o kriterijumu
Tehnički kriterijumi	A1	Godišni protok	m ³ /s	Max	Supriyasilp et al., 2009; Waisurasingha et al., 2012
	A2	Instalisani kapacitet (snaga)	kW	Max	Supriyasilp et al., 2009; Waisurasingha et al., 2012

	A3	Predviđena godišnja proizvodnja električne energije	kWh	Max	Supriyasilp et al., 2009; Waisurasingha et al., 2012; Demirtas, 2013; Troldborg et al., 2014
	A4	Dužina dalekovoda	km	Min	Supriyasilp et al., 2009; Waisurasingha et al., 2012
	A5	Stepen korisnosti	-	Max	Evans et al., 2009; Wang et al., 2009
Ekonomsko socijalni kriterijumi	B1	Troškovi projekta	EURA	Min	Supriyasilp et al., 2009; Waisurasingha et al., 2012; Demirtas 2013; Tsoutsos et al., 2009; Wang et al., 2009
	B2	Nivelisani troškovi električne energije (LCOE)	-	Min	
	B3	Neto sadašnja vrijednost	-	Max	Supriyasilp et al., 2009; Wang et al., 2009
	B4	Društvena prihvatljivost projekta	-	Max	Demirtas 2013; Evans et al., 2009; Troldborg et al., 2014; Tsoutsos et al., 2009; Wang et al., 2009
	B5	Sigurnost investicije	-	Max	Supriyasilp et al., 2009; Demirtas, 2013

	B6	Višenamjenski efekti izgradnje objekta	-	Max	
	B7	Zakonska ograničenja	-	Min	Supriyasilp et al., 2009
Ekološki kriterijumi	C1	Način obezbjeđenja protoka	-		Supriyasilp et al., 2009; Waisurasingha et al., 2012
	C2	Uticaj na eko-sistem	-	Min	Supriyasilp et al., 2009
	C3	Sedimentacija ispred brane	-	Min	Supriyasilp et al., 2009

4.2. Određivanje težinskih faktora

Kriterijumi su indikatori koji sveobuhvatno treba da modeliraju karakteristike određenog problema, tako da se dodjeljivanjem adekvatnih težina, numerički iskazuju preferencije donosioca odluke o značaju odlučivanja. Prema tome, adekvatno definisan model multikriterijumske analize za procese planiranja i rada malih hidroelektrana zahtijeva određivanje težina kriterijuma.

Iz grupe kriterijuma koji su korišteni u multikriterijumskoj analizi za rješavanje datog problema izučavanja na osnovu analize literaturnih izvora kao najvažnije je izdvojeno njih 7, i određeno je da se za njihovu težinu odredi 90% ukupne težine kriterijuma. Kao najvažniji kriterijumi su definisani:

- ◆ način obezbjeđenja protoka,
- ◆ instalisana snaga,
- ◆ zakonska ograničenja,
- ◆ predviđena godišnja proizvodnja,
- ◆ troškovi projekta,
- ◆ sigurnost investicije i
- ◆ društvena prihvatljivost projekta.

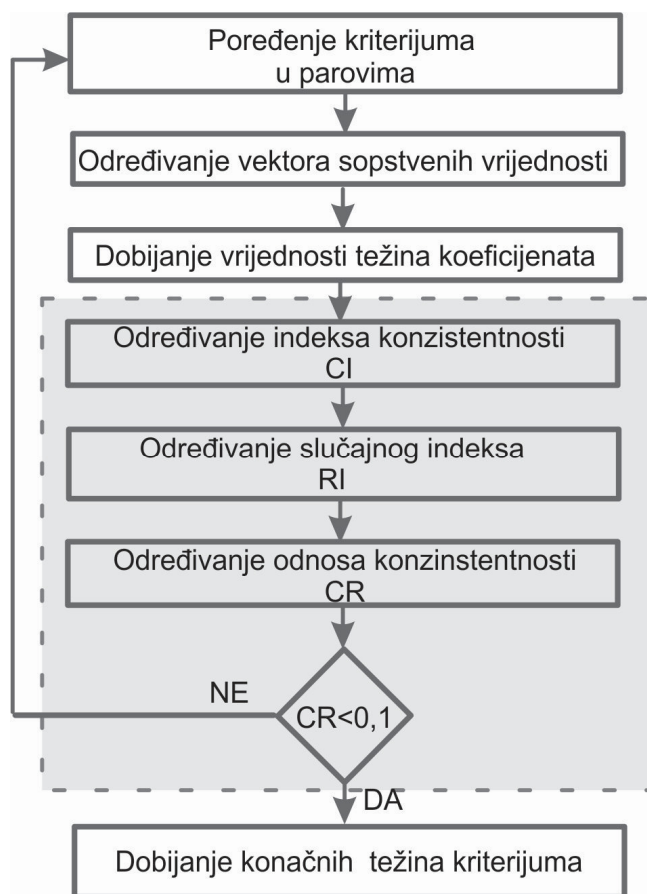
Za najbitnije kriterijume definisan je upitnik.

Kao ključni učesnici u održivom energetskom planiranju projekata malih hidroelektrana, mogu se definisati one grupe pojedinaca, institucija i organa uprave koji direktno ili indirektno utiču na proces donošenja odluka. Kao najvažniji su definisani:

- ◆ akademske institucije,
- ◆ potencijalni investitori,
- ◆ grupe za zaštitu životne sredine i
- ◆ država.

Ispitanici (stručnjaci iz oblasti projektovanja hidroenergetskih postrojenja (akademske institucije), predstavnici vlade iz ove oblasti, potencijalni investitori i predstavnici organizacija za zaštitu životne sredine) su izražavali svoj stav sa konstatacijama iz upitnika, korištenjem Satijeve skale poređenja. Ispitanici su poredili svaki od naznačenih kriterijuma na taj način što su označavali broj koji na najbolji način odgovara njihovom mišljenju, pri čemu broj 1 ima značenje „podjednako bitno“, 3 „umjereno bitno“, 5 „veoma bitno“, 7 „izrazito bitno“ i 9 „isključivo bitno“, dok preostali brojevi 2, 4, 6 i 8 predstavljaju nijansirane vrijednosti između ovih vrijednosti. Korištenje Satijeve skale pri poređenju dva kriterijuma predstavlja prognozu koliki prioritet se daje jednom kriterijumu u odnosu na drugi. Iskustvo pokazuje da pojedinac može i bez posebnog treninga da koristi ovu skalu za davanje relativnih procjena, pod uslovom da poznaje problematiku koja se odnosi na problem odlučivanja. Naime, kako je uspjeh primjene multikriterijumske analize zasnovan na značajnom učešću donosioca odluka, neophodan uslov u samom procesu je dobro poznavanje problema i učeće više donosilaca odluka različitih specijalnosti, kako bi se dobile optimalne težine kriterijuma vrednovanja, nakon čega će se dobiti konačna varijanta koja zadovoljava interese svih zainteresovanih strana.

Informacije, koje su dobijene obradom nakon sprovedene ankete, tj. analize podataka dobijenih popunjavanjem upitnika kreiranog u svrhu navedenog istraživanja, poslužile su da se dobiju težine kriterijuma koji su navedeni kao najbitniji. Konačne težine su dobijene na osnovu AHP metode (slika 4.7.).



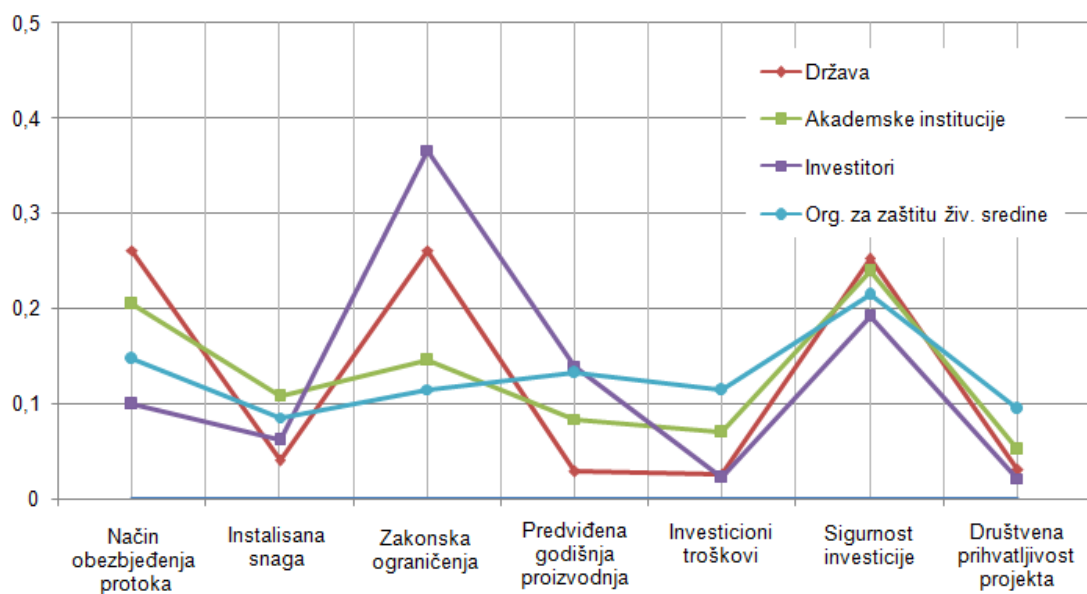
Slika 4.7. AHP metoda

Rezultati ankete za glavne kriterijume su dati u tabeli 4.7, grafički prikaz rezultata dat je na dijagramu 4.7.

Analiza pokazuje da težine kriterijuma odražavaju stavove i interese zainteresovanih strana. Naime, grupa vlada, koja predstavlja zainteresovnu stranu državu i akademske institucije naglašavaju značaj kriterijuma zakonska ograničenja i način obezbjeđenja protoka iznad ostalih kriterijuma. Takođe, kriterijum način obezbjeđenja protoka je dobro rangiran od strane organizacija za zaštitu životne sredine. Kriterijumi instalisana snaga, predviđena godišnja proizvodnja i troškovi projekta su približno isto rangirani od strane svih zainteresovanih strana. Takođe, zanimljivo je da su kriterijumi društvena prihvatljivost projekta i troškovi projekta procenjeni kao marginalno značajni od strane ispitanika.

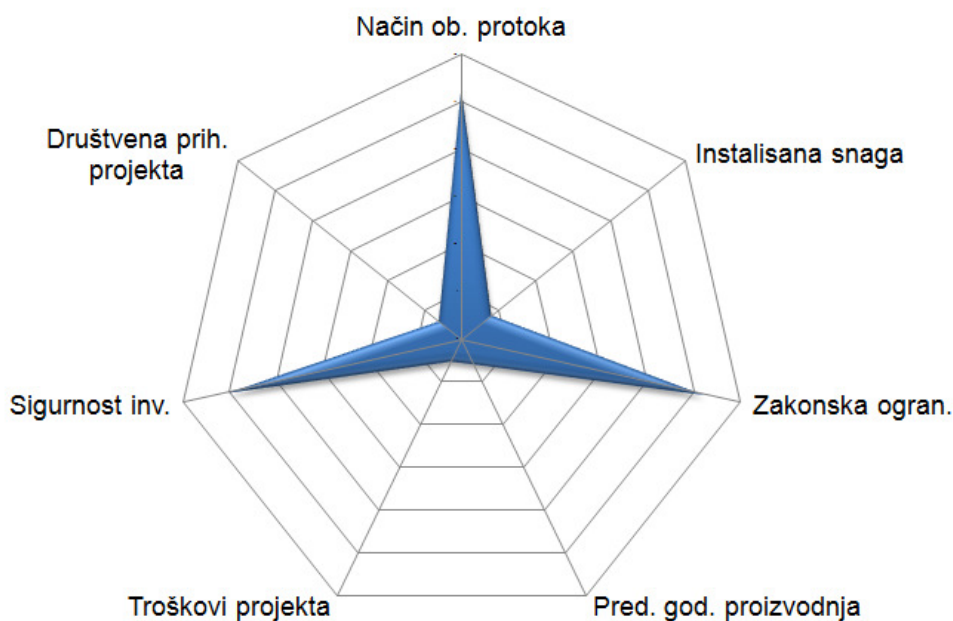
Tabela 4.7. Težine kriterijuma dodjeljene od strane ispitanika

	Način obezbjeđenja protoka	Instalisana snaga	Zakonska ograničenja	Predviđena godišnja proizvodnja	Troškovi projekta	Sigurnost investicije	Društvena prihvatljivost projekta	Sum ostalo
Vlada	26,118	4,032	26,118	2,898	2,583	25,227	3,015	10,0
Rang	2	4	1	6	7	3	5	8-
Investitori	9,909	6,138	36,648	13,923	2,214	19,071	2,106	10,0
Rang	4	5	1	3	6	2	7	8-
Ak. institucije	20,46	10,72	14,51	8,36	6,92	23,84	5,18	10,0
Rang	2	4	3	5	6	1	7	8-
Zaštita životne sredine	14,661	8,523	11,466	13,212	11,376	21,375	9,387	10,00
Rang	2	6	4	3	5	1	7	8-



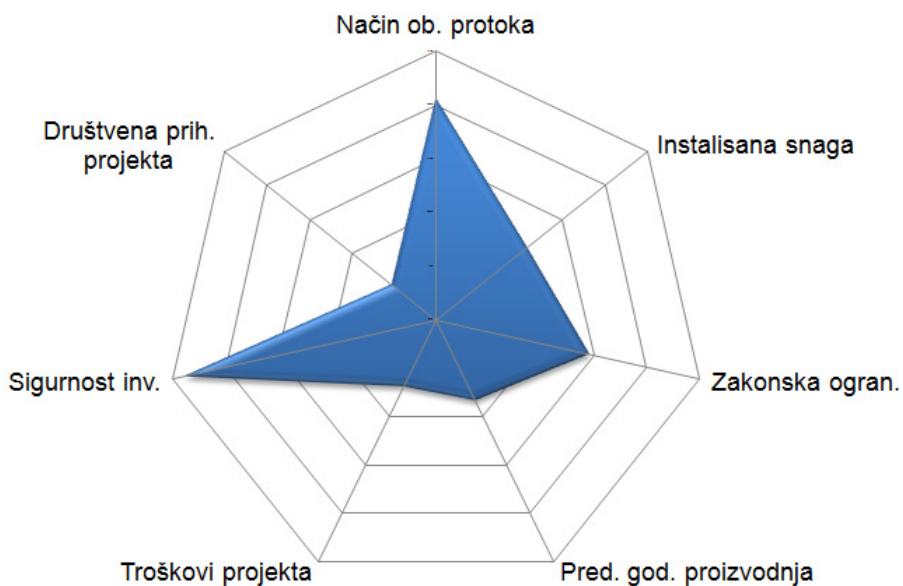
Slika 4.7. Težine kriterijuma

Na grafikonima 4.8. do 4.11. su predstavljene dodjeljene težine ispitanih grupa za pojedine kriterijume.



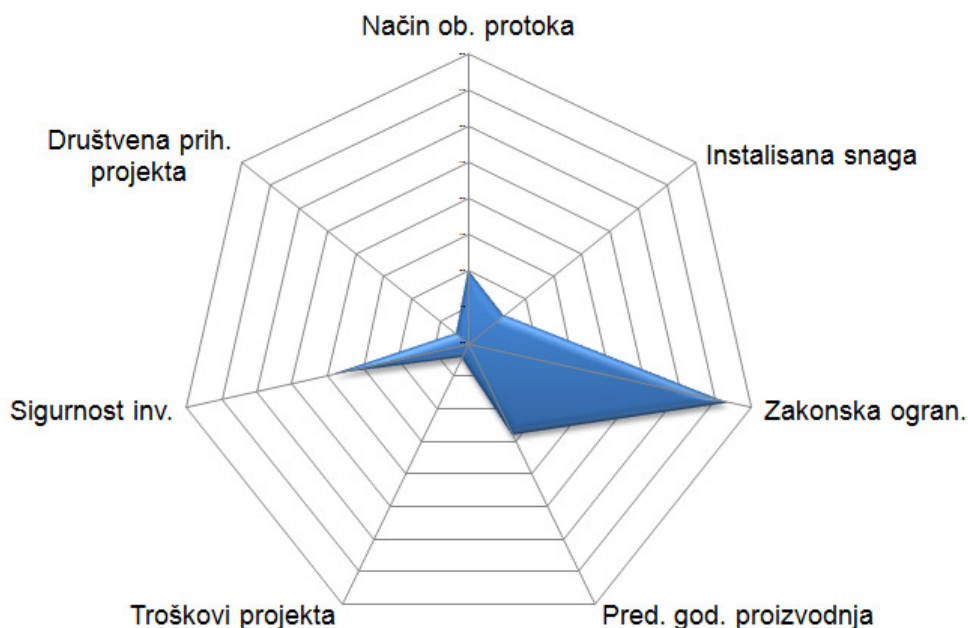
Grafikon 4.8. Usporedni prikaz ocjena države za pojedine kriterijume

Sa dijagrama se jasno vidi da je, prema ocjenama države, najvažnij kriterijum način obezbjeđenja protoka (26,0%), zakonska ograničenja (26,0%) i sigurnost investicije (25,0%), dok je važnost svih ostalih kriterijuma zanemarljiva.



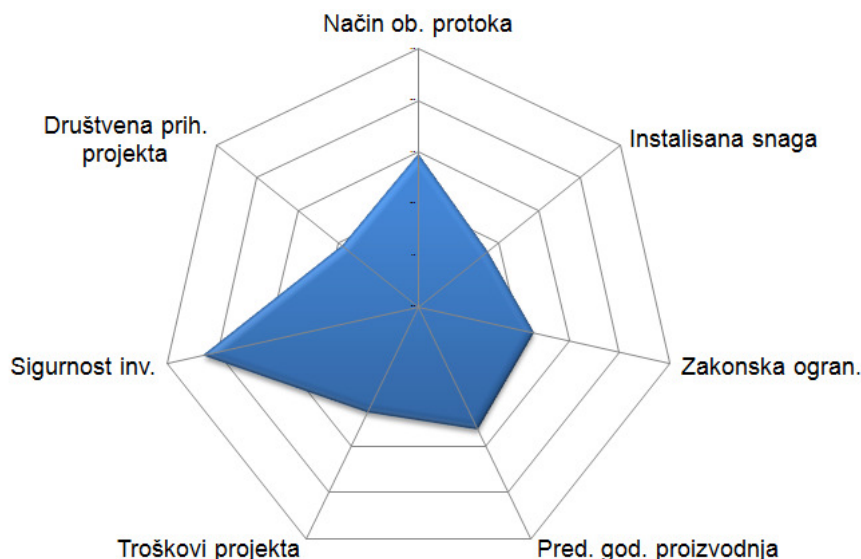
Grafikon 4.9. Usporedni prikaz ocjena akademskih institucija za pojedine kriterijume

Iz navedenog dijagrama se može zaključiti da je najveći značaj dodijeljen od strane akademskih institucija kriterijumima sigurnost investicije (24,0%), način obezbjeđenja protoka (20,5%) i zakonska ograničenja (14,5%).



Grafikon 4.10. Usporedni prikaz ocjena investitora za pojedine kriterijume

Iz radarskog prikaza ocjena kriterijuma, koje se odnose na investiture, primjetno je da su investitorima jako važni: zakonska regulative koja im omogućava efikasno poslovanje (36,5%), sigurnost investicije (19,1%) i predviđena godišnja proizvodnja električne energije (13,9%).



Grafikon 4.11. Usporedni prikaz ocjena organizacija za zaštitu životne sredine za pojedine kriterijume

Iz radarskog prikaza ocjena kriterijuma koje se odnose na organizacije za zaštitu životne sredine, primjetno je da su im jako važni: sigurnost investicije (21,4%), način obezbjeđenja protoka (14,7%) i predviđena godišnja proizvodnja (13,2%).

Postavlja se pitanje kako odabrati metodu multikriterijumske analize u konkretnom slučaju. U tabeli 4.8. su dati neki specifični operativni zahtjevi za metode multikriterijumske analize koji se moraju uzeti u obzir u procesima planiranja obnovljivih izvora energije (Polatidis et al., 2006), s obzirom da se radi o specifičnom problemu odlučivanja.

Tabela 4.8. Operativni zahtjevi za odabir metode multikriterijumske analize, (Polatidis et al., 2006),

Potrebni preduslovi metode multikriterijumske analize	Opravdanost
Težine kriterijuma	Omogućava davanje prednosti određenim kriterijumima odlučivanja
Uporedivost	Kako bi se omogućilo integrisano poređenje različitih akcija
Kvalitativne i kvantitativne informacije	Upravljanje različitim podacima je uglavnom potrebno
Krutost	Da bi se dobili čvrsti podaci
Grupno donošenje odluka	Da bi se uključili interesi većeg broja zainteresovanih strana
Grafički prikaz	Da bi dobijeni rezultati bili razumljivi
Jednostavnost korištenja	Kako bi se donosioci odluke upoznali sa procesom donošenja
Analiza osjetljivosti	Da bi se povećala transparentnost postupka
Raznolikost alternativa	Da bi se omogućili svi pravci djelovanja
Veliki broj kriterijuma odlučivanja	Da bi se obuhvatili različiti aspekti
Procedure koje zahtjevaju konsenzus	Kako bi se postigao globalni kompromis
Uključivanje nematerijalnih aspekata	Da bi se uzele u obzir "skriven" dimenzije problema

Uključivanje različitih jedinica mjere	Da bi kriterijumi ostali u svojim originalnim jedinicama mjere kako bi se dobilo bolje razumjevanje problema
Neizvjesnost	Da bi se eksplicitno tretirali nepotpuni podaci (nesigurni, neprecizni, nedostajući, pogrešni...)
Konkretno značenje korištenih parametara	Da bi se poboljšala pouzdanost procesa
Dimenzija učenja	Da bi se prihvatile nove informacije otkrivene tokom evaluacije postupka
Vremenski aspekt	Da bi se uzela u obzir hitnost situacije

Veliki broj metoda može se realizovati na osnovu nekog od navedenih zahtijeva, ali nijedan metod ne može da uključi sve navedene zahtjeve istovremeno.

Prilikom donošenja odluke o metodi multikriterijumske analize u ovoj disertaciji uzeto je u obzir više parametara. Jedan od najvažnijih jeste da se datim modelom može dobiti rezultat koji se traži. Različite metode daju različite rezultate, tako da je bitno da se odabere metoda koja odražava vrijednosti koje korisnik zahtijeva i to na najbolji mogući način. Drugi uslov jeste da se datim modelom dobiju informacije koje su potrebne, kao i da je metod kompatibilan sa podacima kojima se raspolaže. Ne treba se izostaviti niti jednostavnost korištenja datog modela.

Wang et al. (2009) daju pregled metoda multikriterijumske analize koje se koriste u sistemima obnovljivih izvora energije. U tabeli 4.9. je dat pregled ovih metoda.

Tabela 4.9. Pregled najčešće korištenih metoda multikriterijumske analize primjenjen na probleme obnovljivih izvora energije, (Wang et al., 2009)

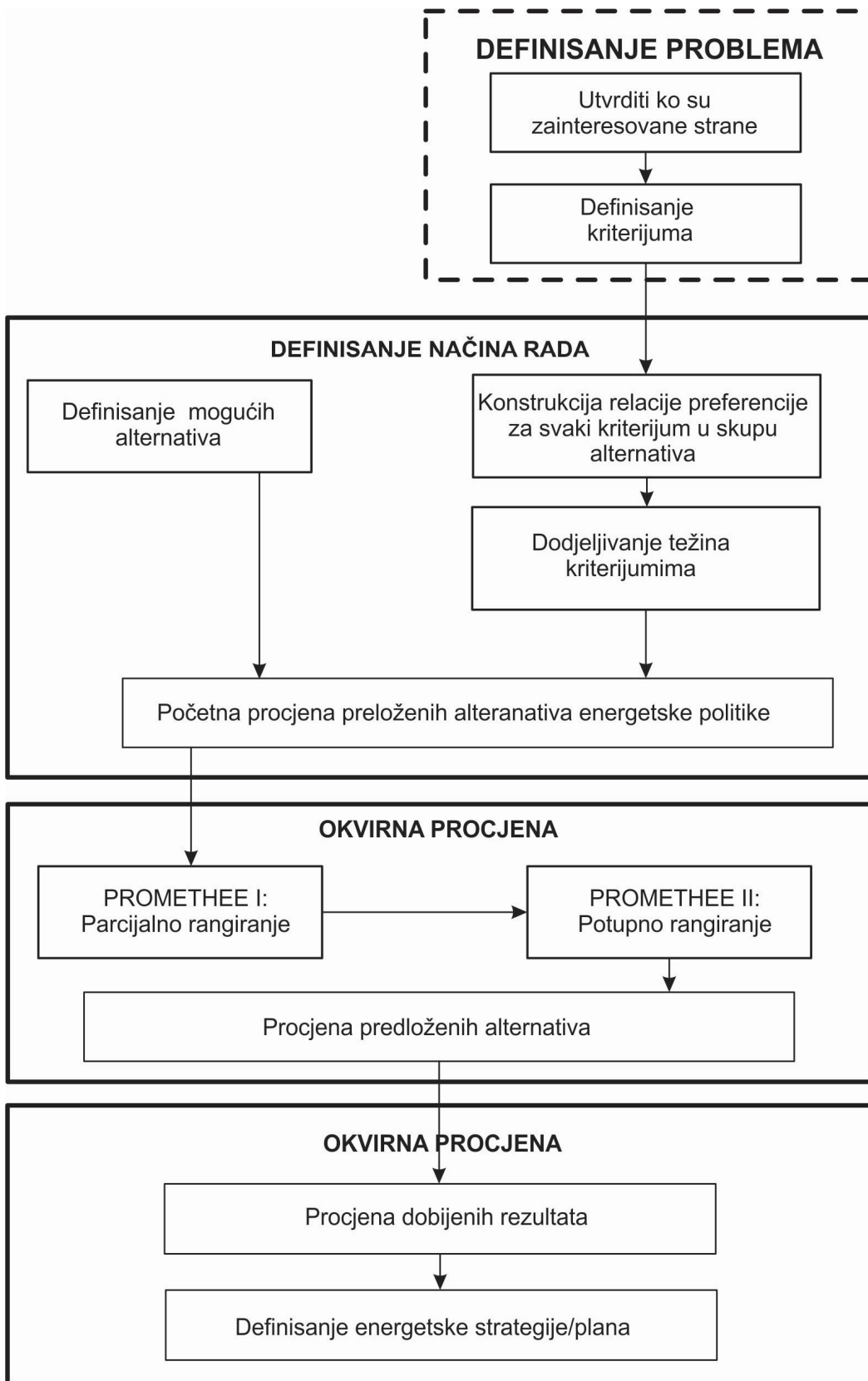
KATEGORIJA	MCDA metoda
Metode korisnosti	AHP Fuzzy metode odlučivanja
Metode rangiranja	Preference ranking organization method for enrichment evaluation (PROMETHEE) Elimination et choice translating reality (ELECTRE)

Ostalo	NAIADE
	MACBETH
	Preference assessment by imprecise ratio statements (PAIRS)

U nekim problemima multikriterijumske analize se paralelno koristi nekoliko metoda (AHP i PROMETHEE: *Klanac i drugi, 2013*; AHP i TOPSIS: *Kumar i Singal, 2015*; PROMETHEE i ELECTRE: *Stevović i drugi, 2010*), ili se vrši njihovo kombinovanje sa ciljem boljeg prilagođavanja problemu koji se analizira (AHP i PROMETHEE: *Draginić i Marković, 2013*).

U procesu primjene multikriterijumske analize u ovom radu se koristi kombinacija AHP i PROMETHEE metode. "Iskorištena je dobra karakteristika AHP-a da na nivou kriterijuma (u hijerarhiji) utvrdi njihove težine, a da se zatim ove težine koriste u metodi PROMETHEE pri vrednovanju alternativa" (*Draginić i Maković, 2013*).

PROMETHEE metoda (slika 4.12.) je u značajnoj mjeri zastupljena u oblastima energetike (*Troldborg et al., 2014*; *Cavallaro, 2005*; *Mladineo et al., 1987*) i uglavnom se primjenjuje na oblasti koje se bave donošenjem strateških odluka, zbog čega je odabrana i za proces planiranja i rada malih hidroelektrana. Promethee metoda je dobro prilagođena ovom problemu i „jer njena fleksibilnost omogućava donosiocu odluke da izrazi tačno njegove preferencije, kao i iz razloga što se stabilni rezultati mogu lako dobiti analizom osjetljivosti“ (*Mladineo et al., 1987*).



Slika 4.12. Promethee metoda za proces planiranja i rada malih hidroelektrana

4.3. Određivanje funkcije preferencije

Određivanje funkcije preferencije se vrši na način da se porede sve kombinacije alternativa za svaki kriterijum, pri čemu svaki kriterijum ima definisanu funkciju preferencije. Ukoliko $P(a_1, a_2)$ prestavlja preferenciju alternative a_1 u odnosu na alternativu a_2 , onda se kaže da ako:

- ◆ $P(a_1, a_2) = 0$ onda se ne preferira alternativa a_1 u odnosu na alternativu a_2 , ali to ne znači ni da se preferira alternativa a_2 u odnosu na alternativu a_1 .
- ◆ $P(a_1, a_2) \approx 0$ onda se iskazuje slaba preferencija alternative a_1 u odnosu na alternativu a_2 .
- ◆ $P(a_1, a_2) \approx 1$ onda se jako preferira alternativa a_1 u odnosu na alternativu a_2 .
- ◆ $P(a_1, a_2) = 1$ onda se u potpunosti preferira alternativa a_1 u odnosu na alternativu a_2 .

Funkcija preferencije se bira s obzirom na prirodu samog kriterijuma. Odabir funkcije preferencije u odnosu na prirodu kriterijuma dat je u tabeli 4.10.

Tabela 4.10. Funkcija preferencije za različite kriterijume (Agarski, 2014)

Kriterijum	Primjena
Običan kriterijum	Kvalitativnim kriterijumima. Za skale sa malim razlikama u vrijednostima, da/ne skale, skala sa 5 vrijednosti.
Kvazi kriterijum	Specijalni slučaj V oblika. Rijetko se koristi
Kriterijum s linearnom preferencijom	Kvantitativni kriterijumi (cijena, snaga i sl.).
Kriterijum s nivoima konstantne preferencije	Kvalitativni kriterijumi. Koristi se ukoliko se žele razlikovati male od velikih devijacija.
Kriterijum s linearnom preferencijom i područjem indiferencije	Kvalitativni kriterijumi sa područjem indiferencije.
Gaussov kriterijum	Sadrži Gausov prag značaja. Rijetko se koristi

Svakom od kriterijuma pridružena je funkcija preferencije koja određuje kakva je priroda poređenja dvije alternative po pojedinačno primjenjenim kriterijumima viđena očima donosioca odluka. U selektovanju funkcije preferencije korišćeni su

podaci iz primjera koji su pratili softverski paket i primjera iz literature. Uobičajeno je da se poređenja, bazirana na monetarnim i numeričkim kriterijumima, obavljaju uz pomoć linearnih funkcija (u slučaju planiranja energetske modele, uzima se da je poručje indiferencije jednako nuli, *Tsoutsos et al., 2009*), dok kvantitativni kriterijumi, zasnovani na petostepenim i devetostepenim skalama, najčešće koriste uobičajeni (usual) kriterijum. U okviru softverskog paketa Visual Promethee postoji pomoćni program za postavljanje pragova preferencija koji je dobra osnova za pomoć kreatoru modela.

4.3. Analiza modela odlučivanja

Konstrukcija konačnog ranga alternativa se radi na osnovu pozitivnog i negativnog toka:

$$\phi^+(a_1) = \frac{1}{N-1} \sum_{b \in A} \Pi(a_1, b)$$

$$\phi^-(a_1) = \frac{1}{N-1} \sum_{b \in A} \Pi(b, a_1)$$

Pravila prilikom rangiranja podrazumijevaju:

- ◆ Alternativa a_1 je superiornija u odnosu na alternative a_2 , ukoliko je:

$$\phi^+(a_1) > \phi^+(a_2) \text{ i } \phi^-(a_1) < \phi^-(a_2),$$

$$\phi^+(a_1) = \phi^+(a_2) \text{ i } \phi^-(a_1) < \phi^-(a_2),$$

$$\phi^+(a_1) > \phi^+(a_2) \text{ i } \phi^-(a_1) = \phi^-(a_2).$$

- ◆ Alternativa a_1 je indiferentna u odnosu na alternative a_2 , ukoliko je:

$$\phi^+(a_1) = \phi^+(a_2) \text{ i } \phi^-(a_1) = \phi^-(a_2).$$

- ◆ U svim ostalim slučajevima alternative nisu komparibilne.

Iz navedenog se vidi da, u slučaju parcijalnog rangiranja, neke alternative nisu komparibilne.

Promethee II može izvršiti potpunu komparaciju alternativa. U tu svrhu definiše se tok $\phi(a)$ kao:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a),$$

- ◆ globalna relaciju preferencije a_1 u odnosu na a_2 , ako je:

$$\phi(a_1) > \phi(a_2) \text{ i}$$

- ♦ globalna relaciju ekvivalencije, ukoliko je:

$$\phi(a_1) = \phi(a_2)$$

Na ovaj način sve alternative budu kopmarabilne, ali je, takođe, moguće imati i alterantive sa jednakim preferencijama.

4.3.1. GAIA ravan

GAIA (*Geometrical Analysis for Interactive Aid*) ravan predstavlja alat za analizu snage diferencije kriterijuma i njihovog konfliktnog karaktera. Ona daje geometrijski prikaz rezultata PROMETHEE metode.

Kako je dimenzija multikriterijumske analize određena brojem kriterijuma ukoliko želimo da damo geometrijski prikaz koji je lako razumljiv, potrebno je problem prikazati dvodimenzionalno. Za svaku alternativu a_i i za svaki kriterijum j definiše se jednokriterijalni tok:

$$\phi_j(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \{P_j(a, x) - P_j(x, a)\} \quad -1 \leq \phi_j(a) \leq 1$$

$$\sum_{j=1}^k W_j \phi_j(a) = \Phi(a)$$

$$\sum_{x \in A} \Phi_j(a) = 0$$

pa se u kontekstu PROMETHEE metode svaka alternativa a_i može predstaviti vektorom

$$\alpha_i = (\Phi_1(a_i), \dots, \Phi_j(a_i), \dots, \Phi_k(a_i)).$$

“Tokovi Φ_j daju pouzdanije i potpunije informacije, nego li same ocjene pojedinih alternativa $f_1(a)$ budući da su svi tokovi dati u istim jedinicama i ne zavise od jedinica u kojima su dati kriterijumi. Razlike u ocjenama $f_j(a)$ koje rezultiraju slabom preferencijom ili indiferencijom među tim akcijama imaju vrlo mali ili nikakav doprinos na $\Phi_j(a_i)$ i obrnuto, razlike koje su važne za donosioca odluke će imati veliki doprinos $\Phi_j(a_i)$ ” (*Mladineo et al., 1987*).

Definišimo matricu Φ na sljedeći način:

$$\begin{bmatrix} \Phi_1(a_1) & \dots & \Phi_j(a_1) & \dots & \Phi_k(a_1) \\ \Phi_1(a_2) & \dots & \Phi_j(a_2) & \dots & \Phi_k(a_2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Phi_1(a_n) & \dots & \Phi_j(a_n) & \dots & \Phi_k(a_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \dots \\ \alpha_n \end{bmatrix}$$

“Svaka alternativa a_i koja je predstavljena redom α_i matrice Φ može biti predstavljena tačkom A_i u prostoru R_k čije su koordinate elementi vektora α_i . Centar težina svih tačaka A_i leži u ishodištu, budući da vrijedi da je” (Mladineo et al., 1987):

$$\sum_{a \in A} \Phi_j(a) = 0.$$

S obzirom da nije moguće prikazati k -dimenzionalno proctor, svaka alternativa određena tačkom A_i u prostoru R_k projektuje se na GAIA ravan, a jedinični vektori prostora R_k , koji predstavljaju kriterijume, takođe se projektuju na istu ravan. Tako su GAIA ravni vidljive i alternative i kriterijumi, čime je omogućena interpretacija problema multikriterijumske analize.

Predstavljanje kriterijuma i alternativa

Neka je C_j projekcija vektora kriterijuma c_j na GAIA ravan. Interpretacija dužine i orijentacije projekcija vektora kriterijuma na ravan GAIA omogućava analizu kriterijuma odlučivanja:

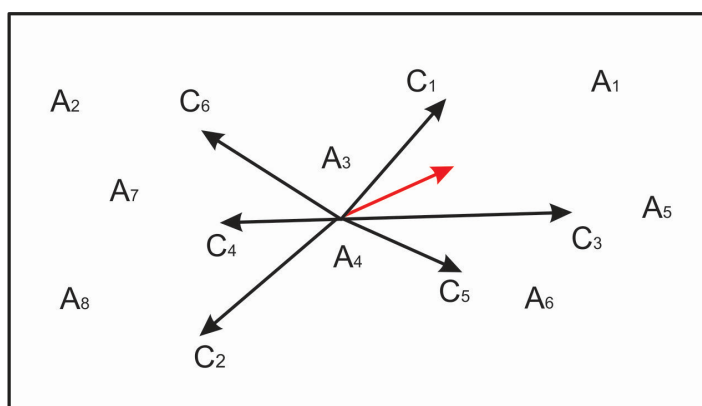
- ◆ snagu diferenciranja kriterijuma – ukoliko je kriterijum c_j tako formulisan da izrazito diferencira alternative projekcija C_j će imati veću dužinu. Prema tome, može se zaključiti da dužina C_j određuje kako kriterijum j diferencira alternative.
- ◆ sličnost kriterijuma – ukoliko dva kriterijuma imaju veliku pozitivnu kovarijansu, znači da su u pitanju dva kriterijuma koji izražavaju iste preferencije. GAIA ravan će biti tako pozicionirana da skalarni proizvod bude pozitivan i velik – što znači da su ose približno orijentisane u istom pravcu.
- ◆ nezavisnost kriterijuma – ukoliko su kriterijumi nezavisni njihova kovarijansa će biti mala, skoro jednaka nuli. GAIA ravan će biti tako izabrana, da je skalarni proizvod blizu nule (kriterijumi će imati skoro ortogonalne vektore).
- ◆ konfliktnost kriterijuma – konfliktni kriterijumi imaju negativnu kovarijansu (konfliktni kriterijumi su predstavljeni sa osama u suprotnim smjerovima).

Za dati primjer na slici 4.13. se može zaključiti:

- ◆ kriterijumi C_1 i C_3 izražavaju iste preferencije donosioca odluke
- ◆ alternative a_1 a₅ prilično su dobre po kriterijumima C_1 i C_3 ,
- ◆ kriterijumi C_3 i C_5 su nezavisni kriterijumi u odnosu na kriterijume C_6 i C_4 ,
- ◆ kriterijumi C_4 i C_6 iskazuju slične preferencije,
- ◆ alternative a_2 , a_7 i a_8 dobre su u pogledu kriterijuma C_4 i C_6 ,
- ◆ kriterijumi C_1 i C_3 su konfliktni u onodsu na kriterijume C_4 i C_2
- ◆ alternative a_1 , a_5 i a_6 su dobre po kriterijumima C_1 , C_3 i C_5 i
- ◆ alternative a_3 i a_4 nisu dobre ni po jednom kriterijumu.

Kao i kriterijumi i svaka od alternativa ima svoju projekciju u GAIA ravni. Ukoliko alternativa ima projekciju u pravcu nekog posebnog kriterijuma, to znači da predstavlja dobru alternativu u odnosu na dati kriterijum. Ukoliko je razlika između dvije projekcije alternativa mala, alternative će biti slične za donosioca odluke. Takođe, u GAIA ravni se lako mogu identifikovati klasteri sličnih alternativa. Na slici 4.13. klaster alternativa A_1 , A_5 i A_6 je dobar po kriterijumima C_1 , C_3 i C_5 .

Neslaganje između alternativa se, takođe, može jasno vidjeti. Neuporedivosti između alternativa nastaju kada se, prilikom poređenja dvije alternative, pojave poteškoće. Najčešće se to dešava kada alternative imaju izuzetno različite profile, kada je jedna alternativa izrazito dobra u pogledu jedne grupe kriterijuma, dok je druga bolja na osnovu druge grupe kriterijuma.



Slika 4.13. Alternative i kriterijumi u GAIA ravni
Izvor: Figueira et al. (2005)

4.3.2. Promethee osa za donošenje odluka

Dodjeljivanje težina kriterijumima je jedan od najvećih problema prilikom donošenja odluka. Određivanje težine kriterijuma je jedan od najvećih problema Promethee metode. Neka su:

$$w : (w_1, w_2, w_3, \dots, w_k)$$

težine koje su dodjeljene kriterijumima. Vektor w se može predstaviti u R^k prostoru. Takođe, neka je

$$(a_i, w) = a \sum w_j \cdot \gamma_j(a_i) = \gamma_i$$

projekcija alternativa a_i na vektor w , i ona predstavlja neto-tok (protok) alternative a_i .

Promethee II metoda obezbjeđuje kompletno rangiranje alternativa, u skladu sa njihovim neto-protokom. Stoga projekcija alternative a_i na vektor w daje kompletno Promethee II rangiranje. Vektor w se može posmatrati kao osa za odlučivanje. Njegova projekcija π u GAIA ravni se naziva Prometee osa za odlučivanje. Ukoliko je π kratko, to znači da Promethee osa nema velikog uticaja na snagu procesa odlučivanja (postoji velika konfliktnost između kriterijuma i alternativa, sa dobrim kompromisom, nalazi se u blizini sredšta). Ukoliko je, pak Promethee osa za odlučivanja duga, donosilac odluke se usmjerava da obavi izbor alternativa, koje su locirane što je moguće dalje u tom pravcu.

5. Primjena modela multikriterijalnog odlučivanja u procesima planiranja i rada malih hidroelektrana u analiziranom regionu

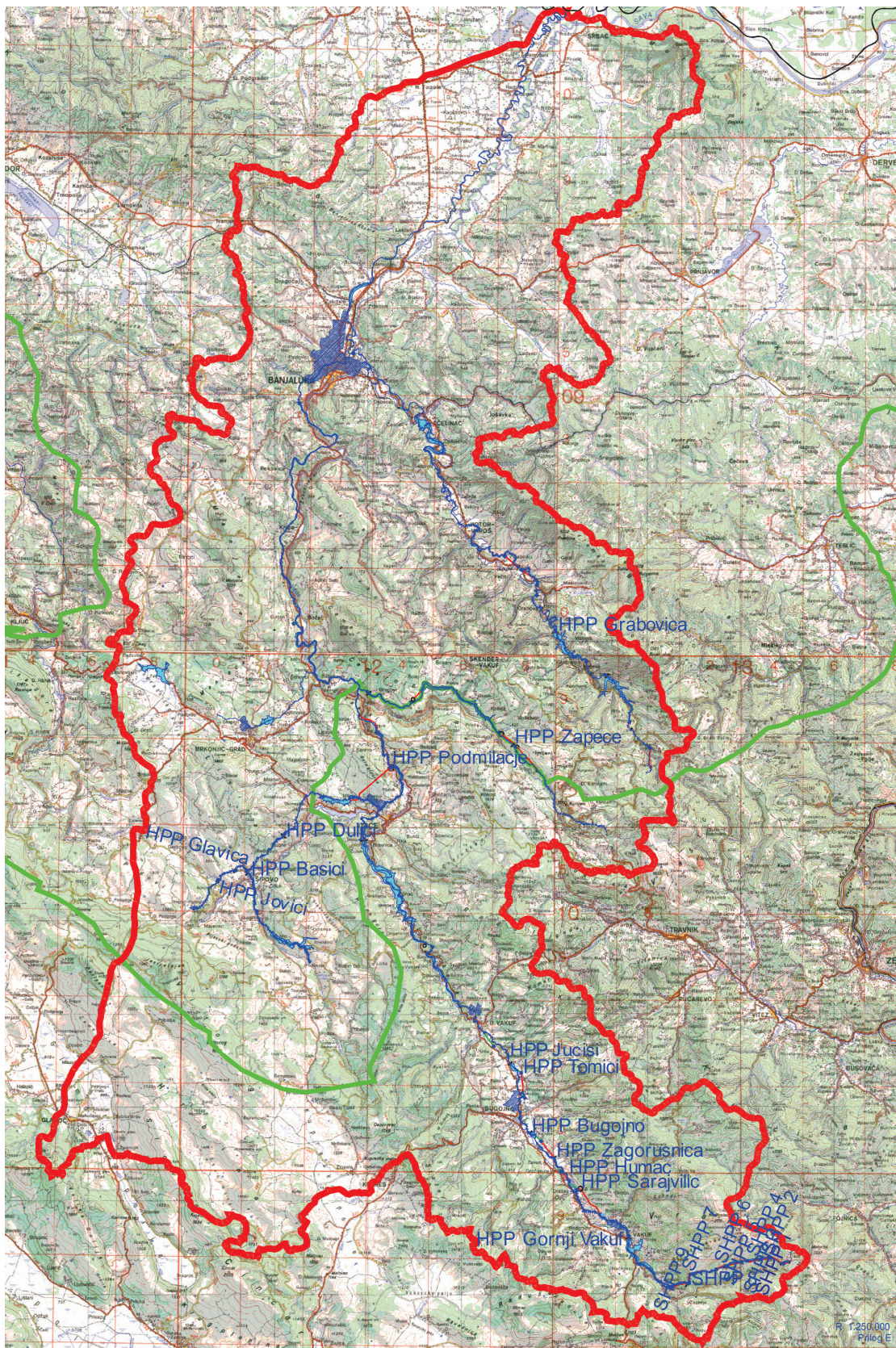
U prethodnom dijelu rada uglavnom su korištene metode koje se zasnivaju na pregledu, selekciji i proučavanju relevantne literature iz oblasti izučavanja.

U ovoj fazi korišćen je metod kompilacije („uvid u rezultate naučno-istraživačkog rada drugih autora, odnosno skupljanje informacija, opažanja, stavova i zaključaka drugih autora o temama relevantnim za predmet ovog istraživanja“ (Miljanović, 2015)).

Izvor informacija su bili zvanični dokumenti iz javnih institucija (Elektroprivreda Republike Srpske, Komisija za koncesije, Ministarstvo privrede energetike i razvoja, Regulatorna komisija), te Integralne vodno-energetske studije razvoja sliva rijeke Vrbas (Modul 1, Modul 2 i Modul 3).

Empirijski dio istraživanja je obavljen na primjeru Republike Srpske, konkretnije na slivu rijeke Vrbas i imao je za cilj provjeru postavljene hipoteze, da je multikriterijumska analiza pogodna za procese planiranja i rada malih hidroelektrana. Analizom su obuhvaćene 24 male hidroelektrane koje se planirane od izvora Vrbasa do Kotor Varoši. Lokacije preloženih lokacija su prikazane na slici 5.1.

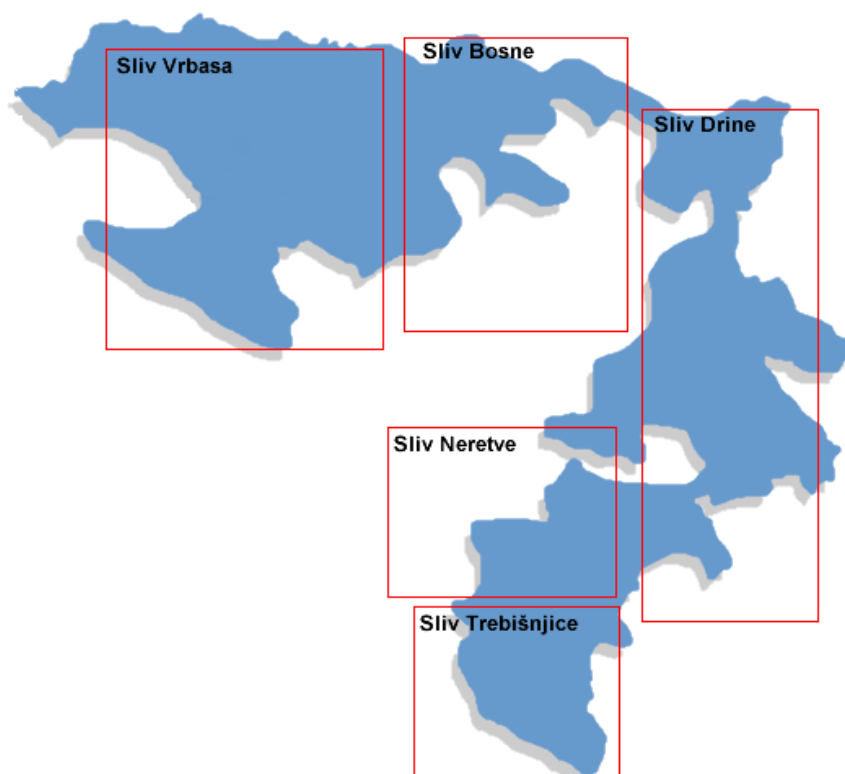
Za obradu podataka korišten je softverski alat Visual Promethee, što je još jedna garancija pouzdanosti rezultata.



Slika 5.1. Pregledna karta lokacija analiziranih hidroelektrana

5.1. Određivanje skupa alternativnih rješenja

„S obzirom na svoje prirodne karakteristike (razvijen reljef, bogatstvo padavina i razvijenu hidrografsku mrežu), Republika Srpska se svrstava u oblasti bogatije hidroenergetskim potencijalom. Ukupan tehnički iskoristiv potencijal vodotoka u RS, uključujući i granične rijeke, iznosi 13.505 GWh/god. Tehički iskoristiv potencijal koji pripada RS iznosi 10.027,5 GWh/god“ (*Elektroprivreda Republike Srpske*, <http://www.ers.ba/>).



Slika 5.2. Slivna područja u Republici Srpskoj

Izvor:

http://www.ers.ba/index.php?option=com_content&view=category&id=10&Itemid=44&lang=ba

Najveći dio neiskorištenog hidroenergetskog potencijala pripada energetske objekta čija je snaga veća od 10MW, međutim, značajan je potencijal i malih vodotokova. U tabeli 5.1. je prikazan ukupan hidro-potencijal u Republici Srpskoj prema „Strategiji razvoja do 2020. godine – jul 2001“.

Tabela 5.1. Tehnički iskoristiv hidro potencijal u Republici Srpskoj (GWh/god) (izvor: Strategija razvoja do 2020. godine – jul 2001)

Rijeka	Dio koji pripada Republici Srpskoj						Dio koji ne pripada Republici Srpskoj		
	Raspoloživi potencijal		Iskorišteni do kraja 1996.		Neiskorišteni potencijal		Ukupno raspoloživi	Iskorišteno do kraja 1996.	Neiskorišteni potencijal
	P _≥ 10 MW	P<10 MW	P _≥ 10 MW	P<10 MW	P _≥ 10 MW	P<10 MW			
Una i Sana	224,2	45,0	-	-	224,2	45,0	97,5	-	97,5
Vrbas	1383,2	249,8	344,1	-	1039,1	249,8	62,5	-	62,5
Bosna	456,0	154,0	-	46,0	456,0	108,0	31,0	-	31,0
Drina	4728,7	190,8	1102,5	31,5	3626,2	159,3	2592,6	-	2592,6
Trebišnjica	2286,7	-	1461,7	-	825,0	-	693,9	693,9	-
Mali vodotoci	1461,7	-	1461,7	-	-	-	693,9	693,9	-
Gornji horizonti	825,0	-	-	-	825,0	-	-	-	-
Neretva	309,1	-	-	-	309,1	-	-	-	-
TOTAL:	9387,9	639,6	2908,3	77,5	6479,6	562,1	3477,5	693,9	2783,6
Ukupno u Republici Srpskoj	10027,5		2985,8		7041,7				

Ova procjena je upitna jer istraživanju malih vodotokova nije pridavana velika pažnja. Osim toga, većina podataka je iz perioda osamdesetih godina i podaci nisu pouzdani, ne samo zbog klimatskih promjena, već i zbog drugih razloga (kod pojedinih lokacija su izgrađena naselja u navedenim oblastima što je onemogućilo izgradnju hidroenergetskih objekata i sl.).

„Ukupni hidroenergetski potencijal u području snaga 0,5 do 10 MW procjenjuje se na 1500 GWh/god. Energetski potencijal u malim hidroelektranama, koje su prepoznate kao kandidati za izgradnju, iznosi oko 212 MW, odnosno oko 650 GWh/god. Energetski potencijal malih hidroelektrana instalisane snage ispod 0,5 MW (mikro i mini hidroelektrane) nije istražen na području Republike Srpske“ (Strategija razvoja energetike Republike Srpske do 2030. godine, 2010).

Male hidroelektrane imaju velike ekološke prednosti u odnosu na konvencionalne izvore energije, pa tako i na velike hidroelektrane, ali i u odnosu na druge alternativne izvore energije.

Uobičajno je bilo shvatanje da se male hidroelektrane grade radi ostvarenja profita. Drugim ciljevima se nije poklanjala posebna pažnja i smatralo se da je u ekonomskom cilju sadržana dovoljna nadokanda za promjene životne sredine.

Međutim, to postaje krajnje konzervativan i neodrživ cilj. I dalje je jedan od ciljeva ostvarenje maksimuma proizvodnje energije, ali se istovremeno nastoji ostvariti više različitih ciljeva.

„Glavna korist od izgradnje male hidroelektrane jeste postizanje određenog postotka udjela obnovljivih energija u konačnoj potrošnji energije“ (*Integralna vodno-energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas. Modul 2 Hidroenergetski razvoj, 2013*) Tabela 5.2. daje pregled postotka nacionalnih ciljeva za ukupan udio energije iz obnovljivih izvora u okviru konačne potrošnje energije u 2005. i 2020. godini koji moraju da postignju zemlje zapadnog Balkana u procesu pristupanja EU.

Tabela 5.2. Ciljni udio energije iz obnovljivih izvora energije na Zapadnom Balkanu (*Integralna vodno-energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas. Modul 2, Hidroenergetski razvoj*)

Država	Udio obnovljivih izvora energije u bruto konačnoj potrošnji u 2005. godini (%)	Ciljni udio energije iz obnovljivih izvora u bruto konačnoj potrošnji u 2020. godini (%)
Albanija	29,3	36,0
BiH	26,5	33,0
Hrvatska	12,6	20,0
Makedonija	13,8	21,0
Crna Gora	23,0	30,0
Srbija	12,9	19,0

Prustup u smislu ostvarenja multidimenzionalnosti interesa i ciljeva vodi do poboljšanja ne samo ekonomskih, već i ekoloških i socijalnih efekata malih hidroelektrana.

U multidimenzionalnosti projekta i višestrukosti ciljeva sadržan je sinergijski efekat što je osnova ostvarenja maksimalne društvene, ekološke i ekonomske koristi.

Širina domena sinergijskih efekata zasniva se na:

- ◆ poboljšanju ekoloških pogodnosti,

- ◆ doprinosu u unapređenju integralnog pristupa vodama i njihovom tretmanu u širem slivnom području,
- ◆ unapređenju sistema za navodnjavanje,
- ◆ poboljšanju u zaštiti od poplava,
- ◆ porastu saobraćajnih mogućnosti brdsko-planinskih područja,
- ◆ poboljšanju naponskih prilika i povećanju pouzdanosti elektroenergetskog sistema,
- ◆ unapređenju i stabilizaciji nivoa površinskih voda.

Posljedica realizacije projekata malih hidroelektrana je niz, kako pozitivnih, tako i negativnih efekata.

Studije ekonomske opravdanosti, s obzirom na utvrđenu cijenu električne energije proizvedene u malim hidroelektranama (u Republici Srpskoj 4,9 feninga po KWh), pokazuju da većina hidroenergetskih objekata ne obezbjeđuje povrat kapitala u periodu koji se smatra uobičajenim. Poseban problem, najvećim dijelom u istočnom dijelu Republike Srpske, je nepostojanje adekvatne prenosne mreže koja može prihvatiti proizvedenu električnu energiju. Pored toga, postoji otpor pojedinih distribucija na čijem području će biti izgrađen veliki broj malih hidroelektrana, da zaključi ugovore, iz razloga što će preuzimanjem električne energije, koja će biti znatno skuplja, ugroziti vlastito poslovanje.

Ovdje je važno napomenuti još neke bitne uticaje koje treba imati u vidu prilikom donošenju odluke o izgradnji malih hidroelektrana na analiziranom području.

O kompleksnosti planiranja malih hidroelektrana pišu *Đorđević i Sekulić (2014)*. Naime radi se o vodotocima izuzetnih ekoloških vrijednosti. Te vrijednosti se ogledaju ili u geomorfološkim i hidrografskim karakteristikama područja (naime, radi se o rijekama sa slapovima, kanjonima i sl.) ili su to hidrološki i ekološki raritetna područja, koja karakteriše bogat biodiverzitet (*Bitka za Sutjesku. Stručna mišljenja o planiranim hidroelektranama u nacionalnom parku Sutjeska*). Takođe, sve zemlje regiona su prihvatile konvenciju (NATURA 2000) kojom se obavezuju da će povećati na 12% teritorije države područja koja su obuhvaćena ekološkom zaštitom. To su, u ovom slučaju, ujedno i područja koja su najprihvatljivija za investitore jer se radi o rijekama sa velikim padovima i brzacima, koja su i najpogodnija za izgradnju malih hidroelektrana.

Takođe, *Đorđević i Dašić (2011)*, su razradili metodiku za određivanje ekološkog minimuma protoka, a u skladu sa tendencijama zaštite vodenih eko-sistema. Zaključak je da bi primjena te metode za definisanje garantovanih ekoloških protoka znatno smanjila proizvodne mogućnosti malih hidroelektrana.

Rijeka Vrbas je desna pritoka rijeke Save i Dunava. Slivno područje obuhvata oko 6,7% sliva rijeke Save i manje je od 1% područja sliva Dunava.

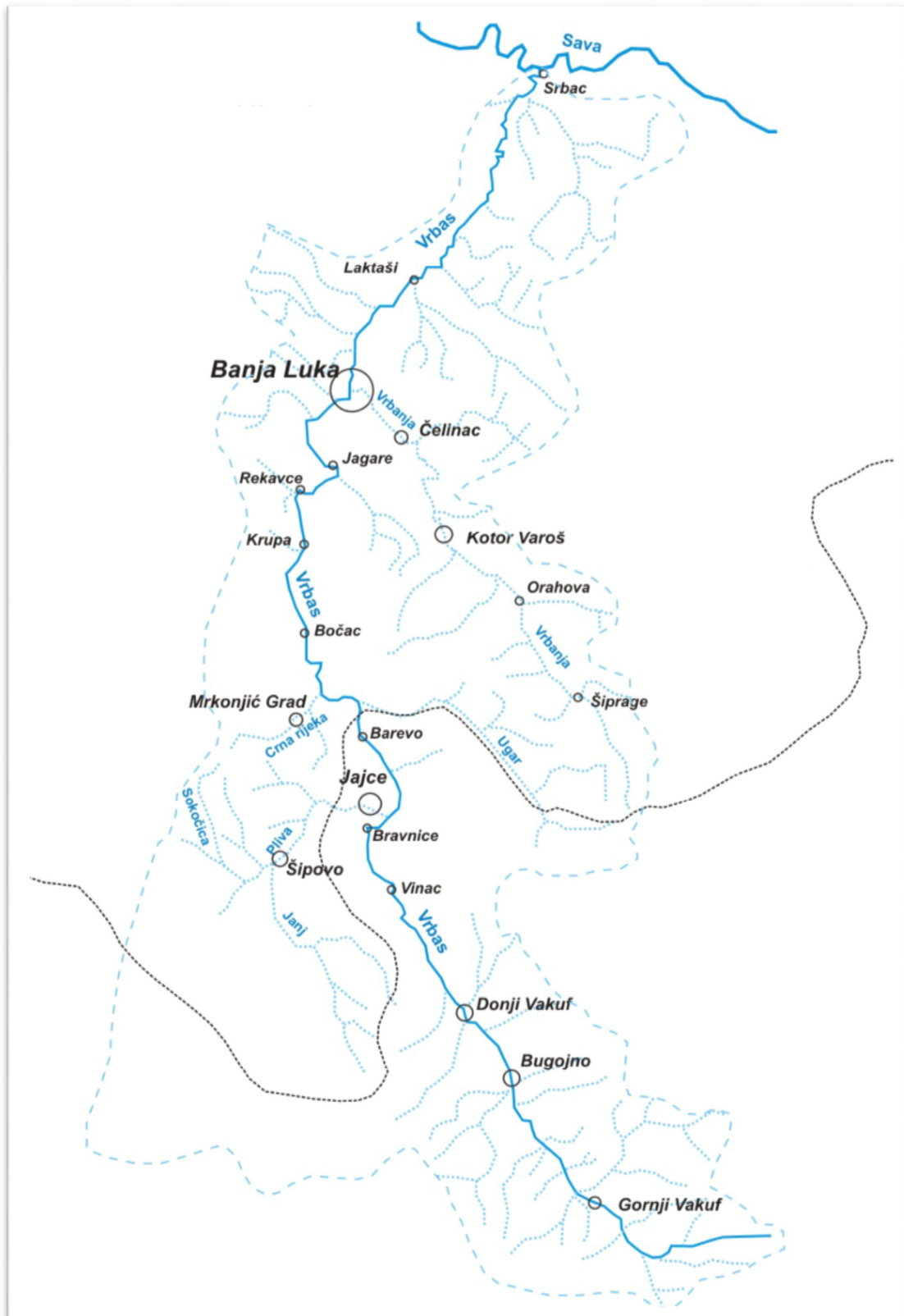


Slika 5.3. Položaj sliva Vrbasa u BiH
Izvor: Topalović i drugi (2012)

5.1.1. Geografski uslovi analiziranog područja u pogledu korištenja hidroenergije

Analiza mogućnosti korištenje hidroenergije pretposlavlja dobro poznavanje geografskih uslova datog sliva.

Ukupna dužina Vrbasa iznosi oko 235 km. Jedan dio toka Vrbasa (125 km) je lociran u Republici Srpskoj (srednji i donji dio sa pritokama), dok se drugi dio nalazi u Federaciji Bosne i Hercegovine. Ukupna površina sliva iznosi 64.000 km². Ukupni pad rijeke od izvora do ušća iznosi 1.440 m, što ukazuje da je prosječni nagib rijeke 6 m/km. Ovo znači da rijeka ima veliku brzinu što je čini pogodnom za korištenje hidroenergije.



Slika 5.4. Lokacija većih naselja u slivu rijeke Vrbas

Izvor: Integralna vodno – energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas (2013)

5.1.1.1 Hidrografska mreža rijeke Vrbasa

Hidrogeografska mreža Vrbasa je usko povezana sa karakteristikama tla. U dijelu sa nepropusnim sedimentima ili niske vodopropusnosti, razvijena je mreža stalnih i periodičnih vodenih tokova. Stalne pritoke Vrbasa od ušća do izvora su: Bistrica kod Gornjeg Vakufa, Oboračka rijeka kod Donjeg Vakufa, Rijeka kod Jajca, Ugar, Svrakava, Vrbanja, Turjanica, Crkvena, Povelić, Ina, Veseočica, Prusačka rijeka, Semešnica, Pliva (sa rijekom Janj), Crna rijeka, Surtolija, Dragočaj i Bukovica.

Pored nabrojanih, postoji niz manjih stalnih pritoka u ovom dijelu sliva Vrbasa. U jugoistočnom i srednjoj zapadnom dijelu, prevladava kraška geologija terena, tako da površinski vodotokovi tu skoro i ne postoje, budući da vode teku kroz podzemne zone, duž rasjednih linija i kraških kanala. Najtipičnije kraške doline su Kupreško, Glamočko i Podrašničko polje.

Kraški izvori, kao hidrološki fenomen, prisutni su u slivu Vrbasa, a najpoznatiji su:

- ◆ izvor Plive
- ◆ izvor Janja
- ◆ Čuklički mlinovi u koritu rijeke Janj
- ◆ izvor Bistrice kod ušća rijeke Ugar u Vrbas
- ◆ izvor Vrletne klisure u koritu rijeke Ugar
- ◆ izvor Trubino u koritu rijeke Ugar
- ◆ izvor Crno u koritu rijeke Ugar
- ◆ izvor Subunar kod Bočca
- ◆ izvor Begovac kod Krupe.

Izgradnja hidroenergetskih objekata je planirana na sljedećim rijekama:

- i. Pliva (lijeva pritoka rijeke Vrbasa) - lijeva, vodom najbogatija pritoka Vrbasa. Izvire u podnožju brda Smiljevac, iz dva kraška vrela velike izdašnosti. Ukupna površina slivnog područja rijeke je 1.484 km², dužina vodotoka je oko 30 km, sa ukupnim padom od 114 m. Glavne pritoke Plive sa lijeve strane su Sokočnica, Rijeka i Jošavka, a sa desne strane Janj. Ukupan energetska kapacitet toka je 343,4 GWh godišnje, a iskorišćeno je do sada, na teritoriji Federacije Bosne i Hercegovine, 216,9 GWh (HE Jajce). Planirana je gradnja sledećih malih HE: MHE Jovići, MHE Glavica, MHE Duljci.
- ii. Janj (pritoka rijeke Plive) - desna i vodom najbogatija pritoka Plive. Slivno područje ima površinu 337 km², a podzemna vododjelnica ide Kupreškim poljem. Ukupna dužina toka je 14,35 km, sa padom od 194,5 m. Ukupan

energetski kapacitet toka je 147,2 GWh godišnje. Planirana je gradnja MHE Bašići.

- iii. Ugar (desna pritoka rijeke Vrbas) - Izvire iz više povremenih vrela na planini Vlašić. Ukupna dužina toka je 44,25 km, a pad 1.073 m. Ukupna površina slivnog područja je 328 km². Ukupan energetski kapacitet toka je 204,6 GWh godišnje. Ugar je dijelom granična rijeka između teritorija Republike Srpske i Federacije Bosne i Hercegovine, tako da se procjenjuje da oko 50% iskoristivog potencijala u snazi i energiji pripada Republici Srpskoj. Planirana je gradnja sljedećih malih hidroelektrana: MHE Melina, MHE Zapeće.
- iv. Crna Rijeka (lijeva pritoka rijeke Vrbas) - Ukupna dužina toka rijeke je 16,25 km, a pad 610 m. Ukupan energetski kapacitet toka je 83,5 GWh godišnje. Planirana je gradnja sledećih malih hidroelektrana: MHE Mrkonjić Grad, MHE Staro Selo.
- v. Vrbanja (desna pritoka rijeke Vrbas) - Izvire na sjeverozapadnoj strani planine Vlašić. Ukupna dužina toka je 92,8 km, a pad je 1.297 m. Ukupna površina slivnog područja je 791 km². Ukupan energetski kapacitet toka je 310,9 GWh godišnje. Planirana je gradnja sledećih malih hidroelektrana: MHE Divići, MHE Kruševo, MHE Šiprage, MHE Stopan, MHE Grabovica, MHE Koritine, MHE Jurice, MHE Orahovo, MHE Obodnik, MHE Vrbanjci, MHE Kotor Varoš, MHE Šibovi, MHE Čelinac, MHE Gradina, MHE Rudina, MHE Vrbanja, MHE Vrbanja II, MHE Vrbanja III, MHE Kilovat, MHE Crkvenica, MHE Demići, MHE Grabovica, MHE Duboka, MHE Cvrcka, MHE Bobas, MHE Sokoljanac, MHE Međurača, MHE Roča, MHE Bobas na Jakotini, MHE Sokoljanac, MHE Grupa od 11 MHE na Liskovčkom potoku, MHE Grpa od 5 MHE na potoku Dragovac, MHE Suturlija Šeher.

5.1.1.2. Geomorfološke karakteristike Vrbasa

U zavisnosti od geologije terena, od izvora do ušća, Vrbas mijenja svoj oblik.

Uzvodno od Gornjeg Vakufa rijeka protiče kroz regiju planina tako da je dolina rijeke relativno uska, sa strmim padinama. Ovo navodi na zaključak da je ovo područje pogodno za male hidroelektrane derivacionog tipa.

Neposredno uzvodno od Gornjeg Vakufa, Vrbas teče kroz široku riječnu dolinu koja se završava profilom kanjonskog tipa. Na osnovu datih geomorfoloških uslova, ova lokacija je pogodna za akumulacije sa branom koja se nalazi u profilu kanjona.

Na području od Gornjeg Vakufa do Donjeg Vakufa dolina je široka sa blagim nagibom što dovodi do zaključka da ovo područje nije pogodno za izgradnju hidrocentrala.

Od Donjeg Vakufa do Jajca dolina rijeke je relativno šira, ali kanjonskog tipa. Blaži nagibi i šira dolina sa geomorfološkog aspekta ovaj dio čine pogodnim za akumulacije, s obzirom da se široke doline nadovezuju na kanjonske dionice.

U srednjem dijelu toka, od Jajca do Banja Luke, riječna dolina protiče kroz krečnjačke sedimente, formirajući uzak kanjon. Ovo je područje bogato kraškim izvorima.

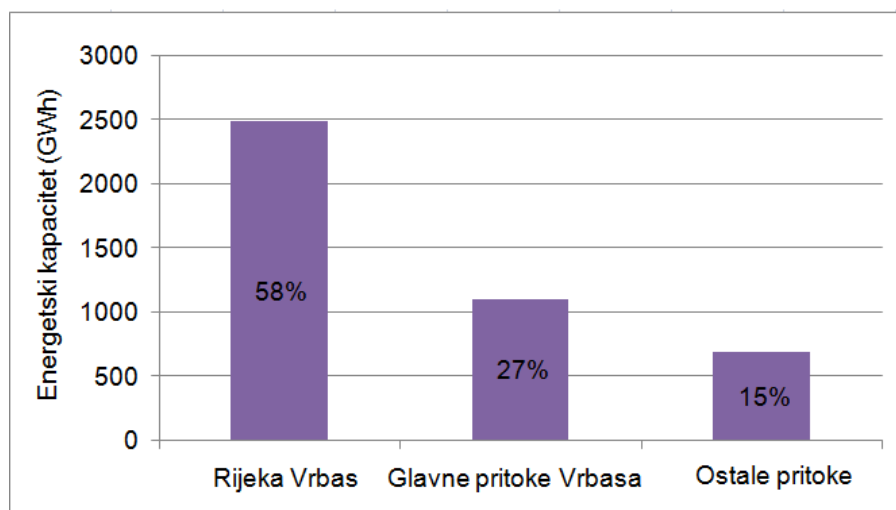
U svom donjem toku – od Banja Luke do ušća sa Savom – Vrbas protiče kroz ravničarsko područje istočnog dijela Lijeve Polja. Ovo ravničarsko područje zahtijeva dugačke nasipe u svrhu održavanja uzvodnog nivoa vode u slučaju izgradnje brane i hidroelektrane.

5.1.1.3. Geološki i hidrološki uslovi sliva Vrbasa

Veći dio sliva Vrbasa spada u krečnjačko čine krečnjačke i dolomitne stijene. One preovladavaju prvenstveno u srednjem i gornjem dijelu sliva. Južno od Banja Luke se nalazi širok pojas serija fliša. Sjeverno od Banja Luke je pojas laporca, gline i pješčara, dok se u dijelu sliva nizvodno od Laktaša nalaze aluvijalne slojevi pijeska i šljunka.

5.1.1.4. Hidropotencijal rijeke Vrbas

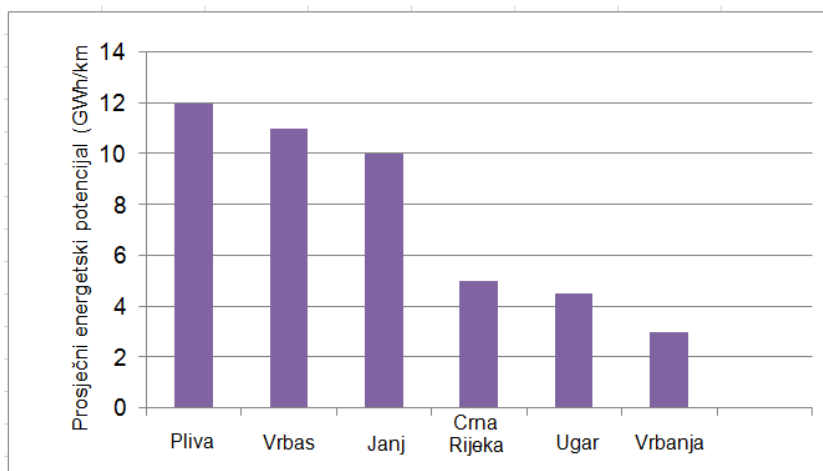
Energetski potencijal svih vodotokova sliva rijeke Vrbas iznosi 4.300 GWh. Energetski potencijal rijeke Vrbas iznosi 2.500 GWh, dok je energetski potencijal svih pritoka oko 1.800 GWh. Pet glavnih pritoka Vrbasa: Pliva, Janj, Ugar, Crna Rijeka i Vrbanja – imaju energetski kapacitet od oko 1.100 GWh, dok sve ostale pritoke imaju kapacitet od oko 700 GWh, slika 5.4.



Slika 5.5. Raspored energetskog kapaciteta sliva Vrbasa

Izvor: Integralna vodno – energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas (2013)

Prosječni energetska potencijal, kao osnovni pokazatelj pogodnosti za proizvodnju, predstavljen je na slici 5.5.



Slika 5.6. Rangiranje rijeka sliva Vrbasa na osnovu prosječnog energetska potencijala

Izvor: Integralna vodno – energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas (2013)

5.1.2. Socio-ekonomske karakteristike analiziranog područja

Posljednji popis stanovništva u slivu Vrbasa je bio 1991. godine, kada je registrovana ukupna gustina u slivu od 79 stanovnika/km². Novije procjene navode gustinu naseljenosti od 73 stanovnika/km² koja je prilično ispod nivoa iz 1991. Do toga je došlo do masovnih iseljavanja ljudi tokom i poslije rata. Došlo je i do značajnijih iseljenja u urbane krajeve. Projekcija populacije za sljedećih 20 godina je generalno nepromijenjena, sa vrlo blagim povećanjem u urbanim dijelovima i blagim padom u ruralnim.

Na području sliva rijeke Vrbas se nalazi više od 100 lokacija namijenjenih nacionalnim spomenicima, više od 300 lokacija je pod peticijama i na privremenim listama.

5.1.3. Identifikacija alternativnih lokacija za analizu

Prilikom primjene multikriterijumske analize u procesima planiranja i rada malih hidroelektrana, prvi korak predstavlja utvrđivanje ciljeva u energetska sektoru. Ciljevi energetska sektora su definisani strateškim dokumentima. U ovoj multikriterijumskoj analizi kao osnovni ciljevi su definisani:

- ◆ Hidroenergetska razvoj – povećanje proizvodnje energije, s posebnim osvrtom na povećanje proizvodnje energije iz obnovljivih izvora.
- ◆ Regulisanje protoka – predložena rješenja treba da teže održavanju prirodnog protoka.
- ◆ Minimiziranje uticaja hidroelektrana na društvo, biljni i životinjski svijet.

Dokazivanje glavne hipoteze rada će se ostvariti kroz dokazivanje postavljenih hipoteza. U tom cilju u nastavku će se rangirati ponuđeni projekti na osnovu multikriterijumskog pristupa i Promethee metode odlučivanja.

Sve lokacije koje su ohvaćene analizom spadaju u grupu malih hidroelektrana čiji je instalisani kapacitet manji od 10 MW. U tabeli 5.1. su dati glavni parametri predloženih opcija malih hidroelektrana po rijekama.

Tabela 5.1. Glavni parametri predloženih opcija malih hidroelektrana po rijekama (Integralna vodno-energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas. Modul 2 Hidroenergetski razvoj, 2013)

Rijeka	Broj hidroelektrana	Instalisani kapacitet MW	Godišnja proizvodnja GWh
Vrbas	17	31,86	158,90
Pliva	3	2,58	18,80
Sokočnica	1	0,68	1,81
Janj	1	1,4	7,60
Ugar	1	1,6	8,00
Vrbanja	2	8,68	19,20
Ukupno	25	46,8	214,21

Analizom će se obuhvatiti sljedeće lokacije:

- I. Osam malih hidroelektrana, koje se nalaze od izvora Vrbasa do naselja Voljevac. Dvije od osam malih hidroelektrana je već izgrađeno i u funkciji su (slika 5.6). Na ovom području uglavnom postoje makadamski putevi koji se mogu koristiti tokom izgradnje ostalih hidroelektrana, što će znatno uticati na troškove izgradnje.



Slika 5.7. Izgrađena MHE 2 u gornjem toku Vrbasa

Izvor: Integralna vodno – energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas (2013)

- II. Mala hidroelektrana Gornji Vakuf. Uzvodno od Gornjeg Vakufa se nalazi lokacija za branu i akumulaciju ove hidroelektrane. Akumulacija bi se mogla koristiti za

navodnjavanje i vodosnabdijevanje. Problem koji se može javiti je vezan za društvenu prihvatljivost datog rješenja (236 hektara potopljenog zemljišta).

- III. Hidroelektrane Sarajlići, Humac, Zagorušica, Bugojno, Tomići i Jusići koje se nalaze na području od Gornjeg Vakufa do Donjeg Vakufa. Lokacije se nalaze na području rijeke Vrbas koja protiče kroz široku dolinu sa blagim padinama. Prosječan protok na ovom dijelu se kreće od 7 do 16 m³/s. Sve navedene lokacije se planiraju sa akumulacijama zanemarljive zapremine, ali sa potrebnom izgradnje nasipa zbog blagog nagiba doline.
- IV. Mala hidroelektrana Podmilačje. Lokacija brane i akumulacije su predviđeni uzvodno od hidroelektrane Jajce 1. Akumulacija za hidroelektranu Podmilačje bi poplavila dio magistralnog puta, određeni broj stambenih objekata i jedan broj livada.
- V. Na dijelu rijeke Vrbas od Banja Luke do ušća je predviđena gradnja više velikih i jedna mala hidroelektrana – Delibašino selo. Mala hidroelektrana Delibašino selo je tipična šema sa mašinskom zgradom lociranoj na desnoj obali. Hidroelektrana je bila u funkciji do zemljotresa 1981. godine, kada je voda razorila dio brane.
- VI. Na rijeci Plivi su planirana tri postrojenja (Jovići, Glavica i Duljci) i sva su tri protočno-pribranska. Kotom uspora u akumulaciji Glavica sačuvani su otoci i rekreacioni centar u koritu rijeke Plive.



Slika 5.8. Lokacija hidroelektrane Jovići i Glavica (karta 1:25 000)

Izvor: Integralna vodno – energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas (2013)



Slika 5.9. Lokacija hidroelektrane Duljci (karta 1:25 000)

Izvor: Integralna vodno – energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas (2013)

- VII. Mala hidroelektrana Sokočnica na rijeci Sokočnici.
- VIII. Mala hidroelektrana Bašiči na donjem dijelu rijeke Janj. Hidroelektrana se planira nizvodno od Janjskih otoka, ukoliko se iz bilo kojih razloga ne dođe do izgradnje HE Janjske otoke, hidroelektrana Bašiči će imati preveliki instalisani kapacitet.
- IX. Na rijeci Ugar su planirane dvije male hidroelektrane od kojih je analizom obuhvaćena mala hidroelektrana Zaprešće. Predviđena je da bude protočno-derivaciono postrojenje.
- X. Analizom je obuhvaćena i mala hidroelektrana na rijeci Vrbanji – Grabovica. Formiranje ove akumulacije bi potpilo veći broj kuća i makadamski put u dužini od 6 km.

5.2. Određivanje kriterijuma

Nakon što su odabrane alternative, sljedeći korak je definisanje kriterijuma. Pri tome treba voditi računa da se odaberu relevantni kriterijumi za dati problem i ujedno ograničenje ovog modela da se odaberu kriterijumi za koje postoje dostupni podaci. U konkretnom primjeru, za analizirani problem, sliv rijeke Vrbas, koji je predmet ove analize, definisani su što je moguće objektivniji i mjerljiviji kriterijumi. Podaci o vrijednostima kriterijuma za pojedine lokacije su, uglavnom, dobijeni iz Integralne vodno-energetske studije rijeke Vrbas.

Kao najbitniji kriterijumi za analizirani problem navedeni su:

- ◆ Instalirana snaga – kvantitativni kriterijum koji će biti uzet kao prvi indikator za rangiranje predloženih lokacija. U razmatranje su uzete male hidroelektrane čiji je instalirani kapacitet (snaga) do 10 MW.
- ◆ Instalirani protok – prosječan protok na lokacijama je jedan od ključnih hidroloških parametara.

- ◆ Predviđena godišnja proizvodnja – kvantitativni kriterijum koji ukazuje na prosječnu godišnju proizvodnju energije, bazirano na očekivanom režimu protoka. U (68) je data prosječna proizvodnja za svaku lokaciju uz korištenje modelovanih podataka (dnevni protoci) „kod jednog alternativnog rješenja i krive trajanja po jedinici posmatranih podataka vodomjerne stanice kod druge alternative“ (*Integralna vodno-energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas. Modul 2 Hidroenergetski razvoj, 2013*).

Tabela 5.2. Predviđena godišnja proizvodnja analiziranih lokacija (*Integralna vodno-energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas. Modul 2 Hidroenergetski razvoj, 2013*)

Red. Br.	Naziv	Godišnja proizvodnja GWh
1.	Podmilačje	23,5
2.	Bugojno	20
3.	Jusići	19,7
4.	Delibašino Selo	19,6
5.	Sarajvilić	19,2
6.	Tomići	14,1
7.	Grabovica	13,7
8.	Zagorušica	11,7
9.	Gornji Vakuf	11,5
10.	Zapeće	8
11.	Bašići	7,6
12.	Humac	7,5
13.	Duljci	7,5
14.	Glavica	7,1
15.	Jovići	4,2
16.	MHE 3	2,5
17.	MHE 6	2
18.	Sokočnica	1,81
19.	MHE 2	1,6
20.	MHE 4	1,5
21.	MHE 7	1,5
22.	MHE 5	1,4
23.	MHE 8	1,3

24.	MHE 1	0,3
-----	-------	-----

- ◆ Troškovi projekta – jedan od najčešćih kvantitativnih kriterijuma koji se koristi u analizama. Izražava se u evrima. Procjena troškova za svaku hidroelektranu je izvršena u nekoliko koraka i to“:
 - a) gruba procjena obima glavnih radova za brane, protočne strukture i hidroelektrane – građevinski radovi (iskop, nasip, betonski radovi...), elektromehanička oprema, hidromehanička oprema
 - b) procjena dužine puteva koji se moraju izmjestiti i eksproprijacije
 - c) izbor jediničnih cijena
 - d) proračun troškova građevinskih radova, elektromehaničke opreme, hidromehaničke opreme i puteva na osnovu jediničnih troškova
 - e) investicioni troškovi za ostale građevinske radove i nepredviđeni troškovi koji su procijenjeni na 35% investicije
 - f) troškovi transporta i instalisanja elektromehaničke opreme, procijenjeni su na 29% investicionih troškova
 - g) troškovi projektovanja i ispitivanja koji su procijenjeni na 3% svih ukupnih troškova
 - h) proračun troškova investitora (3% svih ukupnih troškova)“
(Integralna vodno-energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas. Modul 2 Hidroenergetski razvoj, 2013).
- ◆ Društvena prihvatljivost projekta – kvalitativni kriterijum koji je prikazan na skali od jedan do devet (slika 5.10).

The screenshot shows a window titled "Qualitative Scales" with a close button (X) in the top right corner. On the left, there are input fields for "Select" (set to "9-point"), "Name" (set to "9-point"), and "Unit" (set to "9-point"). Below these is an "Orientation" section with radio buttons for "Min" and "Max", where "Max" is selected. A "Number of levels (max: 10)" section has a spinner box set to "9". At the bottom are buttons for "New", "Delete", "Scale Builder", and "Close". On the right is a table with three columns: "Level", "Label", and "Value".

Level	Label	Value
1	VB	1
2	VB-B	2
3	B	3
4	B-A	4
5	A	5
6	A-G	6
7	G	7
8	G-VG	8
9	VG	9
10		

Slika 5.10. Kvalitativna skala za kriterijum društvena prihvatljivost projekta

U ovom primjeru glavni kriterijum za vrednovanje jeste broj domaćinstava pogođenih investicijom. Podaci o pogođenim domaćinstvima su dati u tabeli 5.3.

Tabela 5.3. Procjena broja pogođenih domaćinstava i stanovnika

R.b.	Naziv hidroelektrane	Pogođene građevine/domaćinstva	Vrijednosti kriterijuma društvena prihvatljivost
1.	MHE 1	0	VG
2.	MHE 2	0	VG
3.	MHE 3	0	VG
4.	MHE 4	0	VG
5.	MHE 5	0	VG
6.	MHE 6	0	VG
7.	MHE 7	0	VG
8.	MHE 8	0	VG
9.	Gornji Vakuf		VB-B
10.	Sarajvilić	16	A-G
11.	Humac	20	B-A
12.	Zagorušica	6	G
13.	Bugojno	37	VB
14.	Tomići	30	VB-B
15.	Jusići	10	A-G
16.	Podmilačje	0	VG
17.	Delibašino Selo	0	VG
18.	Jovići	0	VG
19.	Glavica	0	VG
20.	Duljci	0	VG
21.	Sokočnica	0	VG
22.	Bašići	0	VG
23.	Zapeće	0	VG
24.	Grabovica	0	VG

- ◆ Dužina dalekovoda – dužina dalekovoda utiče na gubitke, ali i na troškove pravljenja priključka na mrežu. „Ako je elektrana priključena na mrežu, investitor pokriva dvije vrste troškova. Jedni se odnose (varijabilni) na

stvane troškove izgradnje i priključka na postojeću mrežu. Drugi (fiksni) iznos se plaća na osnovu jedinice cijene instalisane snage“ (*Integralna vodno-energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas. Modul 2 Hidroenergetski razvoj, 2013*). U analizi je definisana dužina dalekovoda koji je potrebno izgraditi do mjesta priključka na EES u skladu sa važećim propisima priključka na mrežu (prenosnu i distribucionu).



Slika 5.11. Karta elektroenergetskog sistema Bosne i Hercegovine sa operativnim područjima "Elektroprijenosa BiH" i područjima elektroprivreda (decembar 2013. godine)

Izvor: <http://www.derk.ba/ba/ees-bih/karta-ees>

- ◆ LCOE – nivelisani troškovi proizvodnje električne energije, odnosno cijena proizvodnje električne energije koja je potrebna da bi se pokrili troškovi tokom rada trajanja postrojenja (modul 2). Ukoliko se dati projekti rangiraju po kriterijumu LCOE, tada se pokazuje da samo osam projekata (Glavica, Jusići, Tomići, Bugojno, Sarajvilić, Jovići, Bašići i Zagorušica), imaju vrijednost ovog indikatora jednak ili manji od 7cEUR/kWh. To znači da je trošak proizvodnje električne energije kod ovih projekata jednak ili manji od 7cEUR/kWh, tako da cijena električne energije treba da bude veća od 7cEUR/kWh da bi ovi projekti mogli biti izvodljivi. Ovo, takođe, znači da ostali projekti nisu izvodljivi ukoliko cijena električne energije nije mnogo veća.

- ◆ Sigurnost investicije – na analiziranom području osnovna zemljište se sastoji uglavnom od krečnjaka, pješčara i konglomerata. Na osnovu preliminarnih istraživanja, došlo se do zaključka da se ni jedno od planiranih gradilišta ne nalazi na starim rasjedima. „Bez posebnog pregleda stabilnosti obala rijeke, procijenjeno je da je vrijednost ovog indikatora nisko negativna (-) tokom faze izgradnje i faze rada elektrane“ (*Integralna vodno-energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas. Modul 2 Hidroenergetski razvoj, 2013*).

Tabela 5.3. Legenda kriterijuma sigurnost ivnesticije

Uticaj	Oznaka	Vrijednost
Veoma visoka pozitivna	++++	1
Visoka pozitivna	+++	2
Srednje pozitivna	++	3
Nisko pozitivna	+	4
Zanemarljiva	0	5
Nisko negativna	-	6
Srednje negativna	--	7
Visoko negativna	---	8
Veoma visoko negativna	----	9

- ◆ Zakonska ograničenja – „prema prostornom planu RS do 2015. godine kanjon Vrbasa se smatra važnom dolinom „utočištem“ i smatra se potencijalnim kandidatom za Natura 2000 lokaciju“ (*Integralna vodno-energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas. Modul 2 Hidroenergetski razvoj, 2013*). Ipak, nijedna lokacija nije pod zaštitom države tako da je vrijednost ovog kriterijuma procijenjena na very low osim za lokaciju Grabovica (za koju je dodijeljena vrijednost „moderate“) za koju se smatra da treba da dobije zaštićeni status.
- ◆ Način obezbjeđenja protoka – kvalitativni kriterijum na skali od jedan do pet (poglavlje 4). Po kriterijumu način obezbjeđenja protoka najbolje rangirani projekat je Delibašino Selo s obzirom da se radi o lokaciji male hidroelektrane gdje je do 1981. godine već postojala hidroelektrana, ali je oštećena i van funkcije je od tog perioda. Po ovom kriterijumu lošije su rangirane hidroelektrane koje se nalaze u gornjem dijelu sliva, koji se

nalazi na veoma osjetljivom području dok su bolje rangirane hidroelektrane koje se nalaze na malim padovima u dolini.

- ◆ Uticaj na eko-sistem – kvalitativni kriterijum koji je prikazan na skali od jedan do devet. Prilikom procjene uticaja na biljni i životinjski svijet analiza se temelji na procjeni uticaja u smislu poplavljenih oblasti. Međutim treba da se ima u vidu da sve hidroelektrane, pa tako i male hidroelektrane, imaju uticaj. Vrijednost ovog kriterijuma je uzeta kao nisko negativna za sve lokacije, osim za hidroelektranu Grabovica (srednje negativna), jer se nalazi u oblasti koja se razmatra da treba da dobije zaštićeni status u dolini rijeke Vrbanje i Gornjeg Vakufa.

5.3. Analiza dobijenih rezultata

Cilj planiranja elektroenergetskog sistema je predlaganje usklađenog upravljanja slivnim područjem rijeke Vrbasa sa aspekta ekologije i vodnih resursa, zajedno sa upravljanjem postojećim i budućim energetske sistemom.

Osnovni problem korištenja podatka iz vodoprivednih osnova koje su zvaničnog karatera (Vodoprivedna osnova sliva Vrbasa iz 1987. godine i Novelacija Vodoprivedne osnove sliva iz 1997. godine) jeste u tome su sva predložena rješenja data na osnovu korištenja principa rješavanja problema na lokalnom nivou, pri čemu nisu uzete u obzir ostale karakteristike, kao što su druge upotrebne vrijednosti vodnih resursa (vodosnabdijevanje, rekreacija, navodnjavanje i sl.), nije se vodilo računa o tome da li se ponuđeno rješenje uklapa u „opštu sliku integralnog upravljanja vodnim resursima“, kao ni o pitanjima vezanim za ekologiju i društvenu prihvatljivost projekata.

Rezultati dobijeni navedenim modelom odlučivanja su istraženi sa različitih aspekata: finansijskog, društveno – ekonomskog i ekološkog. Svi aspekti su izraženi mjerljivim veličinama, a nakon toga su korišteni za bodovanje i rangiranje različitih projekata jednog naspram drugog. Na slici 5.12. su prikazani ulazni podaci za multikriterijumsku analizu.

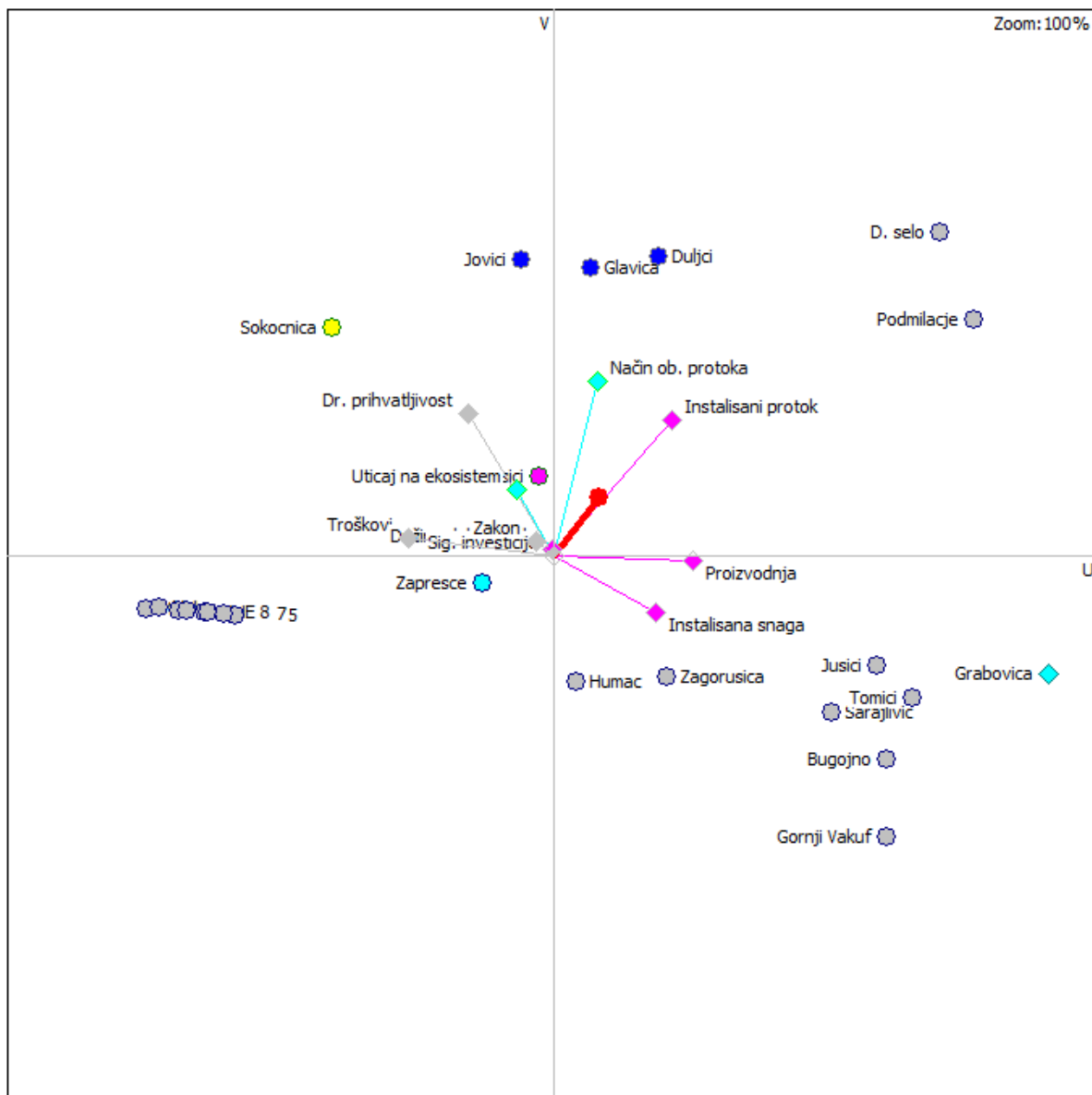
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Scenario1	Instalisana s...	Instalisani pr...	Proizvodnja	Troškovi	Dr. prihvatlj...	Dužina dalek...	LCOE	Sig. investicije	Zakon	Način ob. pr...	Uticaj na eko...	
Unit	MW	m3/s	GWh	Eura	9-point	km	EUR/kWh	9-point	impact	5-point	9-point	
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	
Preferences												
Min/Max	max	max	max	min	max	min	min	max	min	min	max	
Weight	0,07	0,03	0,10	0,06	0,05	0,03	0,03	0,22	0,22	0,18	0,03	
Preference Fn.	Linear	Linear	Linear	Linear	Usual	Linear	Linear	Usual	Usual	Usual	Usual	
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	
- Q: Indifference	1,00	1,00	1,00	€ 1,00	n/a	1,00	1,0000000	n/a	n/a	n/a	n/a	
- P: Preference	2,00	2,00	2,00	€ 2,00	n/a	2,00	2,0000000	n/a	n/a	n/a	n/a	
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Statistics												
Minimum	0,21	0,50	0,30	€	1,00	0,50	0,0538000	4	1	1,00	3,00	
Maximum	6,67	105,00	23,50	€	9,00	2,00	0,5299000	4	3	4,00	6,00	
Average	1,87	16,58	8,70	€	7,38	0,77	0,1335455	4	1	3,63	4,00	
Standard Dev.	1,74	22,49	7,24	€	2,69	0,43	0,1069395	0	0	0,70	0,50	
Evaluations												
✓ MHE 1	0,59	0,50	0,30	€	VG	2,00	0,5299000	n/a	very low	good	B-A	
✓ MHE 2	0,66	0,50	1,60	€	VG	1,00	n/a	n/a	very low	good	B-A	
✓ MHE 3	0,52	0,50	2,50	€	VG	0,50	n/a	n/a	very low	good	B-A	
✓ MHE 4	0,38	0,80	1,50	€	VG	0,50	0,1331000	n/a	very low	good	B-A	
✓ MHE 5	0,25	0,80	1,40	€	VG	0,50	0,1676000	n/a	very low	good	B-A	
✓ MHE 6	0,47	1,30	2,00	€	VG	0,50	0,1102000	n/a	very low	good	B-A	
✓ MHE 7	0,27	1,30	1,50	€	VG	0,50	0,1500000	n/a	very low	good	B-A	
✓ MHE 8	0,21	1,30	1,30	€	VG	0,50	0,1697000	n/a	very low	good	B-A	
✓ Gornji Vakuf	4,95	12,00	11,50	€	B	0,50	0,2646000	B-A	very low	good	B	

Slika 5.12. Prikaz ulaznih podataka

5.3.1. GAIA ravan

GAIA ravan kao multidimenzionalna reprezentacija datog problema odlučivanja sa brojem dimenzija 11, koji je jednak broju postavljenih kriterijuma, prikazuje relativnu poziciju alternativa i kriterijuma.

Softverski paket nudi prikaz o kvalitetu informacija, u ovom slučaju on iznosi 83,5% (sve vrijednosti iznad 70% se smatraju zadovoljavajućim nivoom predstavljanja).



Slika 5.13. GAIA ravan za težine kriterijuma dodijeljene od strane investitora

U GAIA ravni (slika 5.13.) svaki kriterijum je predstavljen osama koje polaze iz centra ravni. Orijentacija osa je bitna da bi se zaključilo koliko su bliski kriterijumi koji se razmatraju.

Iz prikaza se vidi da su kriterijumi o predviđenoj godišnjoj proizvodnji i instalisanoj snazi međusobno bliski. Takođe su bliski kriterijumi društvena prihvatljivost projekta i uticaj na eko-sistem.

Ovakav položaj osa može da se objasni na osnovu same postavke problema odlučivanja. Planirana godišnja proizvodnja je u direktnoj zavisnosti od instalisane snage hidroelektrane. Takođe, projekti koji imaju manji uticaj na eko-sistem će biti bolje prihvaćeni od strane društvene zajednice.

S druge strane, vidljivo je da je kriterijum instalisana snaga u konfliktu sa kriterijumima društvena prihvatljivost projekta i uticaj na eko-sistem (izražavaju iste preferencije odnosno imaju veliku pozitivnu kovarijansu), što znači da su projekti sa većom instalisanom snagom slabije prihvaćeni od strane društvene zajednice i imaju veći uticaj na biljni i životinjski svijet.

Sa slike je vidljivo da su kriterijumi instalisana snaga i način obezbjeđenja protoka nezavisni (njihova kovarijansa je mala, skoro jednaka nuli).

Takođe je bitno napomenuti da je dužina osa koje predstavljaju kriterijume nezavisna od težine kriterijuma, ali ukazuje na značaj kriterijuma u zavisnosti od načina na koji se razlikuju alternative.

GAIA ravan, takođe, omogućava donosiocu odluke da razlikuje profile alternativa, da posmatra pojedine alternative iz ugla pojedinih kriterijuma, kao i da identifikuje alternative koje su slične kao i one koje imaju ekstremno različite profile.

Sa dijagrama se vidi da je klaster alternativa Jusići, Tomići, Sarajvilić, Zagorušica i Bugojno dobar po kriterijumima predviđena godišnja proizvodnja i instalisana snaga, dok su alternative Delibašino selo, Duljci i Podmilačje po kriterijumima način obezbjeđenja protoka i instalisani protok.

Dužina ose za odlučivanje (Decision stick) ukazuje na povećanu stabilnost i pouzdanost, dok njena orijentacija ukazuje da su najbolje alternative u pravcu ose i na velikoj udaljenosti od ose (Delibašino Selo i Podmilačje).

5.3.2. Preference Flows

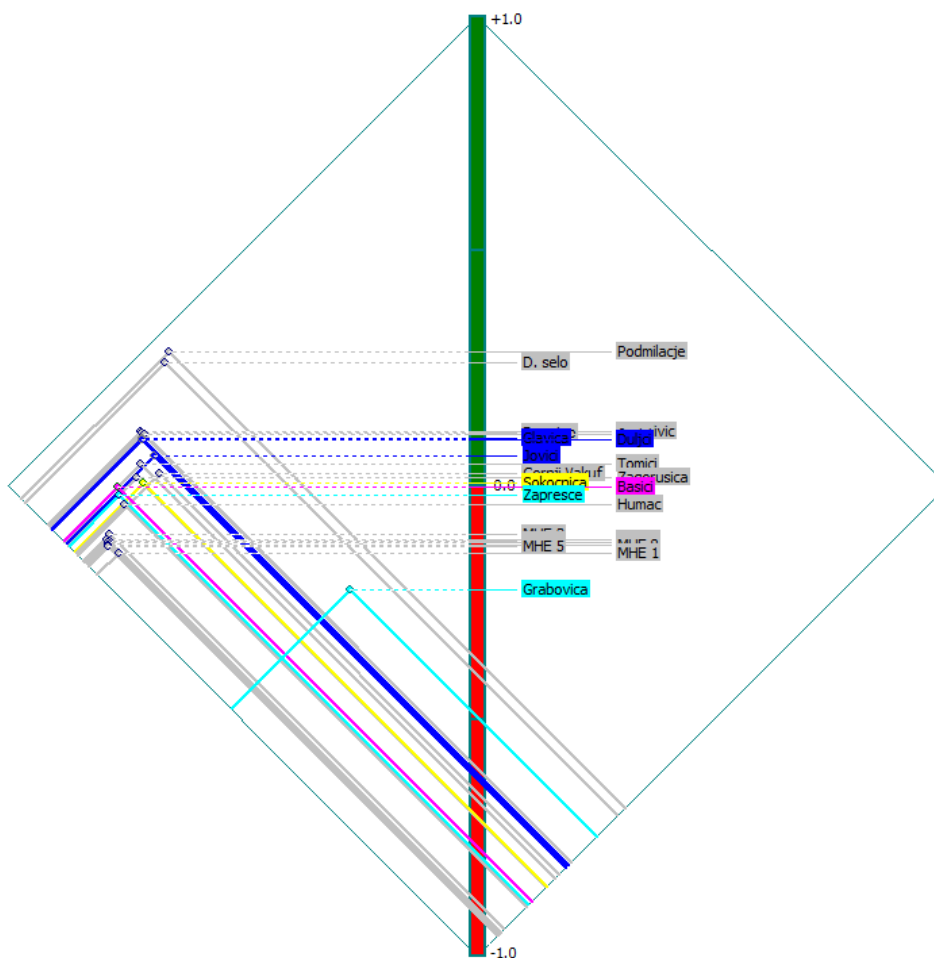
Metoda Promethee I daje izračunate „Phi“ vrijednosti, odnosno ulazne i izlazne tokove ili odnose dominacija pojedinih alternativa, dok konačno postignute rangove alternativa, a na osnovu izračunate neto-vrijednosti Phi daje Promethee II metoda.

Pozitivni tok Φ^+ ili tzv. izlazni tok predstavlja kolika je preferencija akcije u odnosu na ostale akcije. Negativni tok Φ^- tzv. ulazni tok određuje koliko su ostale akcije više preferirane u odnosu na posmatranu. Što je veća negativna vrijednost alternative, manja je snaga posmatrane alternative.

Balans između pozitivnih i negativnih tokova je tzv. „net preference flow“. Ovaj tok tako ujedinjuje, kako „jačinu“, tako i „slabost“ akcije u jednu vrijednost, a može biti pozitivan ili negativan.

Slika 5.13. pokazuje analizu pozitivnih i negativnih tokova za sve alternative, za vrijednosti težinskih koeficijenata dodijeljenih od strane investitora. Negativni tokovi su prikazani na lijevoj strani, dok je pozitívni tok prikazan na desnoj strani.

Zeleni dio predstavlja pozitivne, a crveni negativne vrijednosti. S obzirom da je alternativa Podmilačje iznad svih ostalih alternativa, donosilac odluke (u ovom slučaju investitori) ima sklonost prema toj alternativu u odnosu na ostale.



Slika 5.14. Pozitivni i negativni tokovi alternativa

Ova analiza se, takođe, može prikazati i tablično u brojkama o pojedinim tokovima.

U tabeli 5.4. su prikazani negativni i pozitivni tokovi za sve alternative i sve zainteresovane strane (četiri moguća scenarija, odnosno za vrijednosti težinskih koeficijenata koji su dodijeljeni od strane akademskih institucija, države, investitora i organizacija za zaštitu životne sredine). Projekti su rangirani od onih sa najvećom vrijednošću Phi prema onima sa najmanjom vrijednošću.

Scenario I: Težine dodjeljene od strane akademskih institucija

Na osnovu mišljenja akademskih institucija, najznačajniji su oni projekti koji imaju najbolju sigurnost investicije i one investicije kod kojih nije veliki uticaj na životnu sredinu (način obezbjeđenja protoka). U tom smislu najbolje rangirani projekti su Podmilačje, Delibašino selo i Glavica, a najgore rangirani su MHE 7 (Phi -0,117), Humac (Phi -0,117) i MHE 5 (Phi -0,124).

Scenario II: Težine dodjeljene od strane države

Država je, kao najvažnije kriterijume, definisala zakonska ograničenja i način obezbjeđenja protoka, te su najbolje rangirani Delibašino Selo (Phi 0,327), Podmilačje (Phi 0,270) i Glavica (Phi 0,215) a najgore rangirani su MHE 1 (Phi -0,095), Humac (Phi -0,097) i MHE 5 (-0,098).

Scenario III: Težine dodijeljene od strane investitora

Najveće vrijednosti težinskih koeficijenata u slučaju investitora su dobijene za kriterijume zakonska ograničenja i sigurnost investicije te su kao najbolje rangirani projekti Podmilačje (Phi 0,287), Delibašino Selo (Phi 0,263) i Sarajlivić (0,116), a najgore rangirani su projekti MHE 5 (Phi -0,129), MHE 1 (Phi -0,142) i Grabovica (Phi -0,219)

Scenario IV: Težine dodjeljene od strane organizacija za zaštitu životne sredine

Na osnovu mišljenja organizacija za zaštitu životne sredine najznačajniji su oni projekti koji imaju najbolju sigurnost i one investicije kod kojih nije veliki uticaj na životnu sredinu (način obezbjeđenja protoka) te su najvažniji Podmilačje (Phi 0,286), Delibašino Selo (Phi 0,261) i Glavica (Phi 0,154). Na dnu se nalaze projekti malih hidroelektrana Gornji Vakuf (Phi -0,112), Humac (Phi -0,122) i Tomići (Phi -0,132).

Mogu se izvesti sljedeći zaključci: analizom se došlo do zaključka da su najbolje rangirani projekti koji omogućavaju veću proizvodnju i istovremeno imaju manji uticaj na biljni i životinjski svijet. Najbolje rangiran projekat je Podmilačje koji ima najbolji neto-tok od strane investitora (Phi 0,287); akademskih institucija (Phi 0,311) i organizacija za zaštitu životne sredine (Phi 0,288). Po scenariju II najbolje rangiran je projekat Delibašino Selo (Phi 0,327).

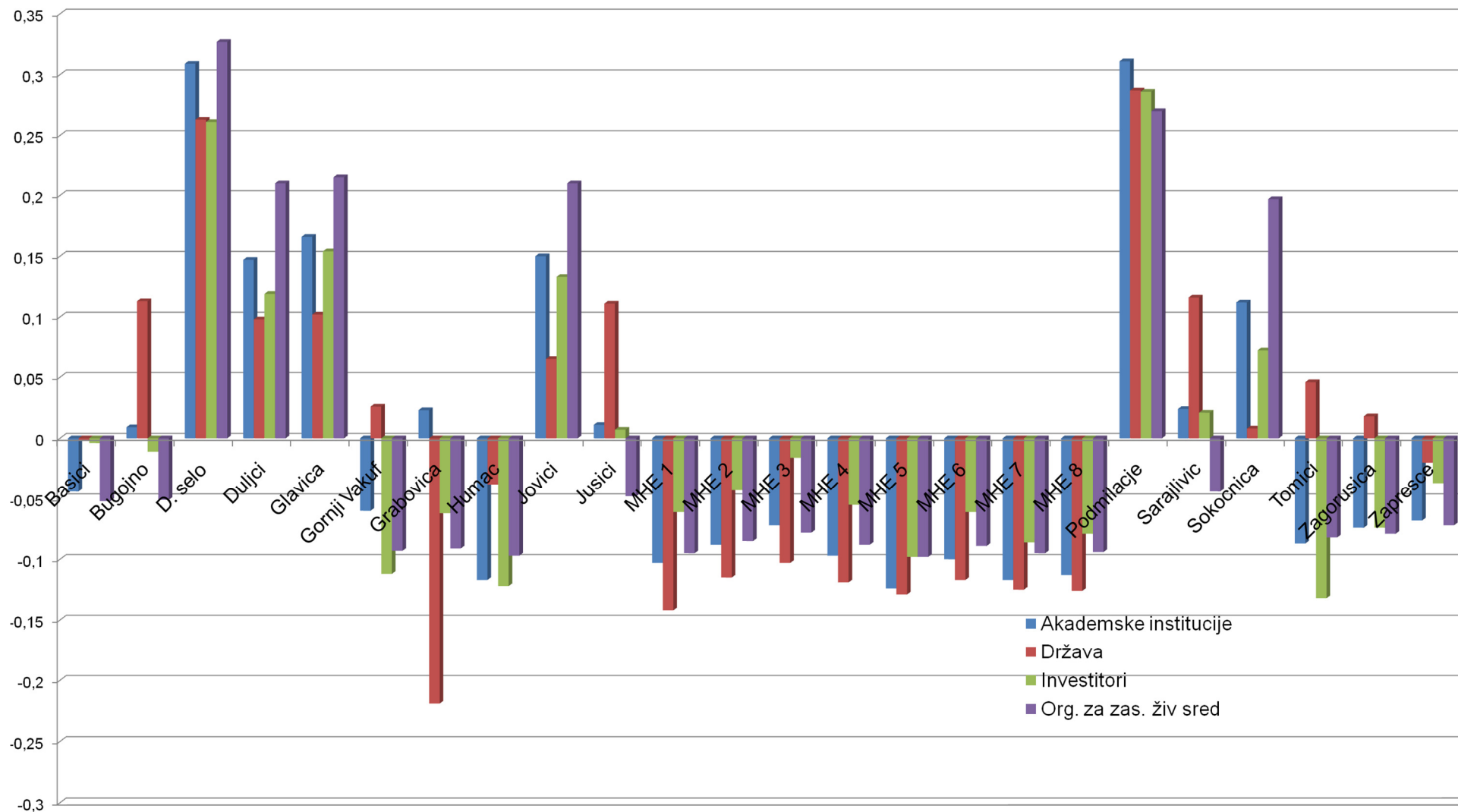
Na slici 5.14. je dat grafički prikaz predloženih projekata i njihov rang u odnosu na sva četiri scenarija.

Tabela 5.4. Unicriterion i Multicriteria Preference Flows za sva četiri scenarija

Akademske institucije			Država				Investitori				Organizacije za zaštitu životne sredine				
	Phi+	Phi-	Phi		Phi+	Phi-	Phi		Phi+	Phi-	Phi		Phi+	Phi-	Phi
Podmilačje	0,384	0,073	0,311	D. selo	0,358	0,031	0,327	Podmilačje	0,315	0,027	0,287	Podmilacje	0,392	0,106	0,286
D. selo	0,390	0,080	0,309	Podmilačje	0,307	0,037	0,270	D. selo	0,299	0,035	0,263	D. selo	0,379	0,118	0,261
Glavica	0,275	0,109	0,166	Glavica	0,266	0,051	0,215	Sarajlivic	0,199	0,083	0,116	Glavica	0,292	0,138	0,154
Jovici	0,277	0,127	0,150	Duljci	0,264	0,054	0,210	Bugojno	0,199	0,086	0,113	Jovici	0,294	0,161	0,133
Duljci	0,266	0,119	0,147	Jovici	0,267	0,057	0,210	Jusici	0,200	0,089	0,111	Duljci	0,274	0,156	0,119
Sokocnica	0,255	0,142	0,112	Sokocnica	0,266	0,069	0,197	Glavica	0,193	0,092	0,102	Sokocnica	0,253	0,181	0,072
Sarajlivic	0,197	0,173	0,024	Sarajlivic	0,092	0,136	-0,044	Duljci	0,192	0,093	0,098	Sarajlivic	0,242	0,221	0,021
Grabovica	0,341	0,318	0,023	Jusici	0,094	0,142	-0,048	Jovici	0,187	0,123	0,065	Jusici	0,238	0,231	0,007
Jusici	0,193	0,183	0,011	Bugojno	0,090	0,141	-0,051	Tomici	0,165	0,118	0,046	Basici	0,176	0,180	-0,004
Bugojno	0,191	0,182	0,009	Basici	0,068	0,120	-0,052	Gornji Vakuf	0,174	0,148	0,026	Bugojno	0,227	0,238	-0,011
Basici	0,119	0,163	-0,044	Zapresce	0,059	0,132	-0,072	Zagorusica	0,146	0,128	0,018	MHE 3	0,162	0,178	-0,016
Gornji Vakuf	0,175	0,234	-0,060	MHE 3	0,053	0,131	-0,078	Sokocnica	0,148	0,140	0,008	Zapresce	0,161	0,198	-0,037
Zapresce	0,109	0,177	-0,068	Zagorusica	0,069	0,148	-0,079	Basici	0,116	0,118	-0,002	MHE 2	0,146	0,188	-0,043
MHE 3	0,101	0,173	-0,072	Tomici	0,070	0,152	-0,082	Zapresce	0,108	0,128	-0,020	MHE 4	0,141	0,196	-0,055

Primjena multikriterijumske analize u procesima planiranja i rada malih hidroelektrana

Zagorusica	0,133	0,207	-0,074	MHE 2	0,048	0,133	-0,085	Humac	0,105	0,143	-0,038	MHE 1	0,149	0,209	-0,061
Tomici	0,135	0,221	-0,087	MHE 4	0,048	0,136	-0,088	MHE 3	0,056	0,160	-0,103	MHE 6	0,139	0,200	-0,061
MHE 2	0,091	0,179	-0,088	MHE 6	0,048	0,136	-0,089	MHE 2	0,047	0,162	-0,115	Grabovica	0,315	0,377	-0,062
MHE 4	0,088	0,185	-0,097	Grabovica	0,273	0,364	-0,091	MHE 6	0,049	0,166	-0,117	Zagorusica	0,186	0,259	-0,074
MHE 6	0,087	0,187	-0,100	Gornji Vakuf	0,082	0,174	-0,093	MHE 4	0,047	0,166	-0,119	MHE 8	0,130	0,209	-0,079
MHE 1	0,093	0,196	-0,103	MHE 8	0,045	0,139	-0,094	MHE 7	0,044	0,169	-0,125	MHE 7	0,126	0,212	-0,086
MHE 8	0,082	0,195	-0,113	MHE 7	0,045	0,140	-0,095	MHE 8	0,044	0,170	-0,126	MHE 5	0,121	0,218	-0,098
MHE 7	0,079	0,196	-0,117	MHE 1	0,049	0,144	-0,095	MHE 5	0,042	0,171	-0,129	Gornji Vakuf	0,196	0,308	-0,112
Humac	0,099	0,216	-0,117	Humac	0,056	0,153	-0,097	MHE 1	0,047	0,188	-0,142	Humac	0,147	0,269	-0,122
MHE 5	0,076	0,200	-0,124	MHE 5	0,043	0,141	-0,098	Grabovica	0,255	0,474	-0,219	Tomici	0,161	0,294	-0,132



Slika 5.15. Konačan rang alternativa za različite scenarije

Iz tabele 5.4. i grafika 5.14. se vidi da je ubjedljivo najbolje rangiran projekat za izgradnju male hidroelektrane Podmilačje. Projekat male hidroelektrane Podmilačje ima neto tok 0,311 po scenariju I; 0,287 po scenariju III i 0,286 po scenariju IV, dok je po scenariju II (država) na drugom mjestu. Ovo dovodi do zaključka da su najbolje rangirane one lokacije koje utiču na povećanje proizvodnje energije (lokacija Podmilačje ima najveću predviđenu godišnju proizvodnju) i imaju manji uticaj na društvo (ima veoma dobru društvenu prihvatljivost s obzirom da izgradnjom hidroelektrane ne bi bilo pogođenih domaćinstava), biljni i životinjski svijet (prosječan uticaj), tako da se može zaključiti:

Kvalitet donošenja odluka je unaprijeđen s obzirom da su najbolje rangirani projekti koji imaju veću proizvodnju i istovremeno imaju manji uticaj na društvo, biljni i životinjski svijet

čime se potvrđuje **hipoteza H1**.

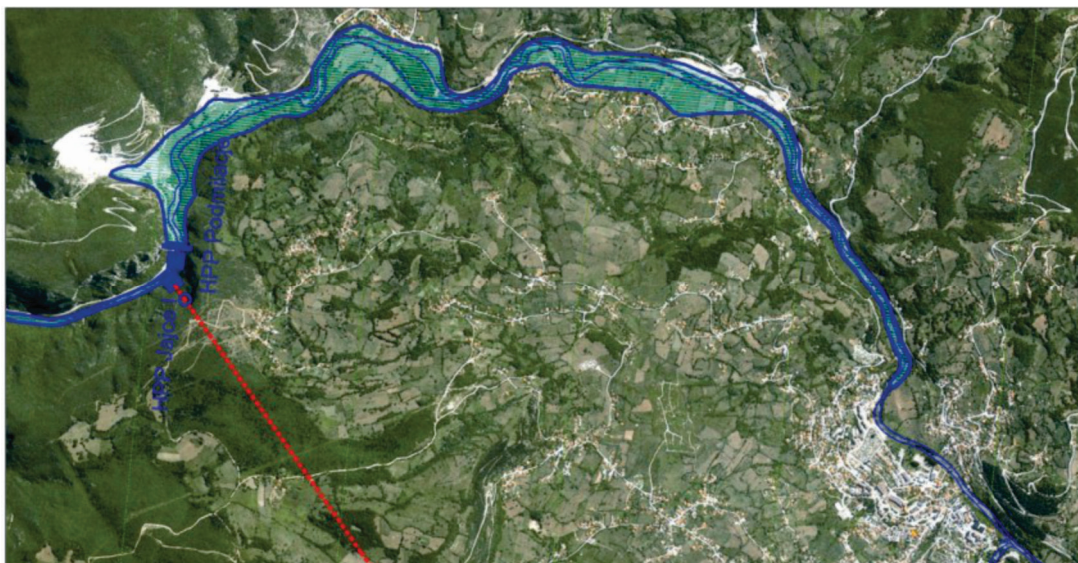
Po scenariju II najbolje rangiran je projekat Delibašino Selo (Phi 0,327), dok je po ostalim scenarijima ovaj projekat na drugom mjestu. „Branu i hidroelektranu Delibašino Selo je postojeća struktura locirana na području Grada Banja Luka, na riječnoj stacionaži 65,400 km. To je tipična protočna šema sa mašinskom zgradom lociranom na desnoj obali i malom betonskom branom sa slobodnim prelivom iznad“ (*Integralna vodno-energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas. Modul 2 Hidroenergetski razvoj, 2013*). Ovim se potvrđuje **hipoteza H2**:

Primjenom multikriterijumske analize moguće je unaprijediti kvalitet donošenja odluka kroz izbor onih projekata koji teže održanju prirodnog protoka.

Kako se dokazivanjem hipoteza H1 i H2 može smatrati da je i glavna hipoteza H0 potvrđena, možemo smatrati da je:

Model zasnovan na multikriterijumskoj analizi pogodan za procese planiranja i rada malih hidroelektrana.

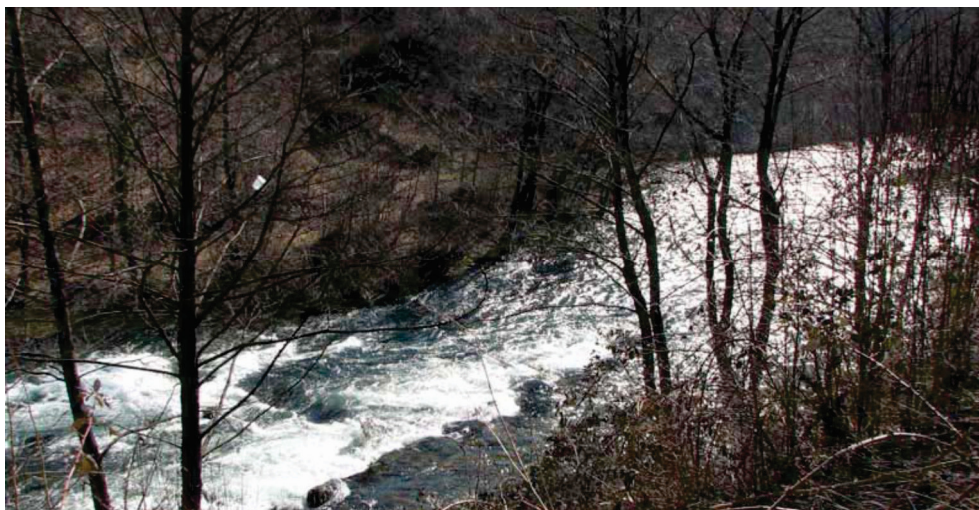
Najbolje rangirani projekat je projekat male hidroelektrane Podmilačje (slika 5.16). Lokacija male hidroelektrane Podmilačje je planirana neposredno uzvodno od hidroelektrane Jajce I na stacionaži 135,650 km. Geologiju terena na ovom području karakteriše laminirani krečnjak koji formira strme i stabilne padine. Izgradnjom projekta bi se poplavio dio magistralnog puta.



Slika 5.16. Satelitski snimak šeme hidroelektrane Podmilačje

Mala hidroelektrana Delibašino Selo je tipična protočna hidroelektrana. Ova hidroelektrana je bila u funkciji do 1981. godine tako da je predstavljeno rješenje za njenu rekonstrukciju. Ono obuhvata betonsku branu od 15 m visine sa četiri kontrolisane pregrade i most na vrhu za spajanje lijeve i desne obale rijeke.

Hidroelektrana Glavica se planira na rijeci Plivi. Nalazi se nizvodno od ušća Sokočnice u Plivu. U tom dijelu Rijeka Pliva protiče kroz kraći kanjon sa strmijim obalama (slika 5.17.). "Kotom uspora u akumulaciji sačuvani su otoci i rekreacioni centar u koritu Plive. Takođe ovom kotom supora ne potapa se postojeći put na lijevoj obali rijeke" (*Integralna vodno-energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas. Modul 2 Hidroenergetski razvoj, 2013*).



Slika 5.17. Lokacija planirane hidroelektrane Glavica

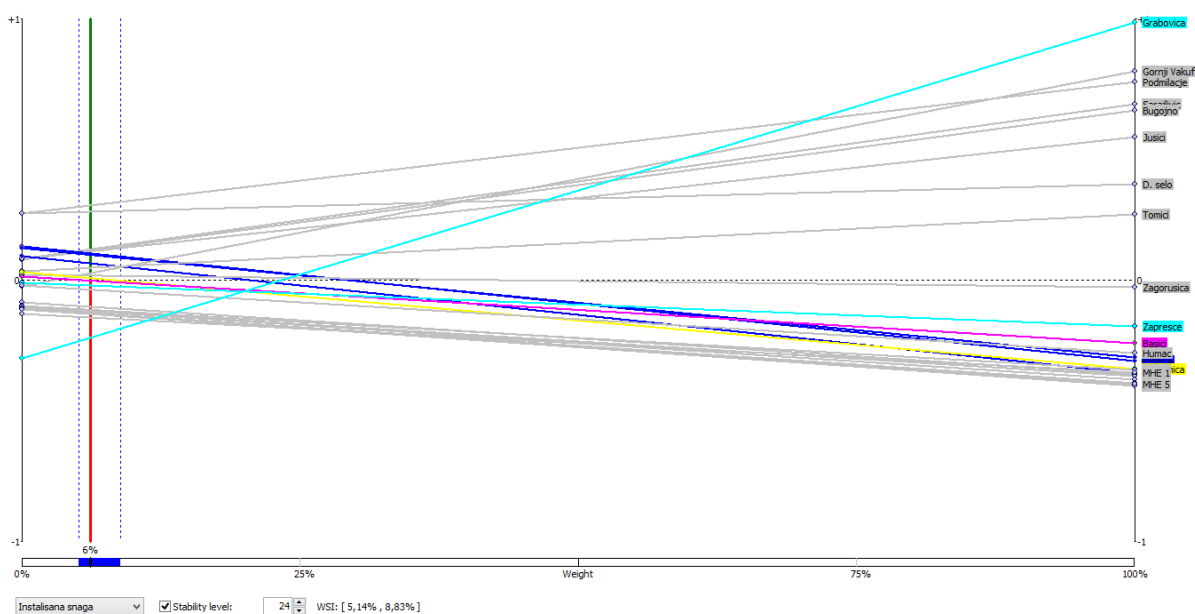
U tabeli 5.5. su prikazani glavni parametri najbolje rangiranih projekata.

Tabela 5.5. Glavni parametri najbolje rangiranih razvojnih opcija malih hidroelektrana

Naziv	Tip šeme	Q _{ins}	H _{bruto}	P _{in}	E	V _{kor}	Regulacija	Tip brane	Visina brane
		m ³ /s	m	MW	GWh	Mm ³			m
Podmilačje	Pribranska	50	11	4,66	23,5	0	No	betonska	21,5
Delibašino selo	Pribranska	105	3	2,62	19,6	0	No	betonska	15
Glavica	Pribranska	22	5	0,93	7,1	0	No	betonska	7

5.3.3. Intervali stabilnosti

Intervali stabilnosti (slika 5.18.) označavaju područje u kojem se težine pojedinih kriterijuma mogu mijenjati bez uticaja na konačan rang alternativa. Cilj analize intervala stabilnosti jeste da se provjeri robusnost izabranih prioriternih odnosa. Široka stabilnost intervala stabilnosti ukazuje na to da se rangiranje ne mijenja čak i ukoliko navedeni parametar varira u širokom obimu.



Slika 5.18. Interval stabilnosti za kriterijum instalisana snaga, težine kriterijuma dodjeljene od strane investitora

U tabelama 5.6. – 5.9. su prikazani podaci o intervalima stabilnosti za pojedine scenarije.

Tabela 5.6. Intervali stabilnosti za pojedine kriterijume, za težine dodjeljene od strane države

	Težine	Interval stabilnosti	
		Minimum	Maksimum
Instalisana snaga	4,03	3,92	4,16
Instalisani protok	2,50	2,41	2,64
Predviđena godišnja proizvodnja	2,90	2,86	3,01
Troškovi	2,58	2,53	2,63
Društvena prihvatljivost projekta	3,02	2,89	3,08
Dužina dalekovoda	2,5	2,43	2,86
LCOE	2,5	0,00	100,0
Sigurnost investicije	25,23	0,00	100,0
Zakonska ograničenja	26,12	25,97	26,24
Način obezbjeđenja protoka	26,12	26,01	26,29
Uticaj na eko-sistem	2,5	2,28	2,60

Analizom intervala stabilnosti iz tabele 5.5 može se vidjeti da je interval stabilnosti najširi za kriterijume LCOE i sigurnost investicije, čije vrijednosti ne utiču na konačan rang alternativa, dok su kriterijumi sa najmanjim intervalima stabilnosti troškovi, društvena prihvatljivost projekta i instalisani protok.

Tabela 5.7. Intervali stabilnosti za pojedine kriterijume, za težine dodijeljene od akademskih institucija

	Težine	Interval stabilnosti	
		Minimum	Maksimum
Instalisana snaga	10,72	10,52	10,98

Instalisani protok	2,50	2,40	2,57
Predviđena godišnja proizvodnja	8,36	8,31	8,46
Troškovi	6,92	6,81	6,96
Društvena prihvatljivost projekta	5,18	5,15	5,29
Dužina dalekovoda	2,5	1,67	2,93
LCOE	2,5	0,00	100,0
Sigurnost investicije	23,84	0,00	100,0
Zakonska ograničenja	14,51	14,42	15,47
Način obezbjeđenja protoka	20,46	19,53	20,58
Uticaj na eko-sistem	2,5	2,40	3,28

Može se vidjeti da su intervali sigurnosti, za težine kriterijuma dodjeljene od strane akademskih institucija, najširi za kriterijume LCOE i sigurnost investicije dok, ukoliko se težine kriterijuma društvena prihvatljivost projekta, troškovi projekta i predviđena godišnja proizvodnja neznatno povećaju promijenice se rang predloženih alaternativa. Takođe se vidi da su intervali stabilnosti mali za sve kriterijume.

Tabela 5.8. Intervali stabilnosti za pojedine kriterijume, za težine dodijeljene od strane investitora

	Težine	Interval stabilnosti	
		Minimum	Maksimum
Instalisana snaga	6,14	5,14	8,83
Instalisani protok	2,5	0,01	3,55
Predviđena godišnja proizvodnja	13,92	13,04	15,13
Troškovi	2,21	1,21	3,41

Društvena prihvatljivost projekta	2,11	1,64	2,76
Dužina dalekovoda	2,5	1,72	4,75
LCOE	2,5	0,00	100,0
Sigurnost investicije	19,07	0,00	100,0
Zakonska ograničenja	36,65	31,55	100,0
Način obezbjeđenja protoka	9,91	9,03	10,69
Uticaj na eko-sistem	2,5	1,51	3,32

Može se vidjeti da su intervali sigurnosti najširi za kriterijume LCOE i sigurnost investicije, kao i za kriterijum zakonska ograničenja, dok su najmanji intervali sigurnosti za kriterijume društvena prihvatljivost projekta, način obezbjeđenja protoka i uticaj na eko-sistem. Inače intervali sigurnosti za ovaj slučaj su znatno širi u odnosu na prethodne.

Tabela 5.9. Intervali stabilnosti za pojedine kriterijume, za težine dodjeljene od strane organizacija za zaštitu životne sredine

	Težine	Interval stabilnosti	
		Minimum	Maksimum
Instalisana snaga	8,52	8,05	8,54
Instalisani protok	2,5	2,00	2,58
Predviđena godišnja proizvodnja	13,21	12,88	13,25
Troškovi	11,38	11,34	11,69
Društvena prihvatljivost projekta	9,39	9,33	9,71
Dužina dalekovoda	2,5	1,04	2,64
LCOE	2,5	0,00	100,0
Sigurnost investicije	21,38	0,00	100,0

Zakonska ograničenja	11,47	11,42	12,46
Način obezbjeđenja protoka	14,66	13,68	14,75
Uticaj na eko-sistem	2,5	2,42	3,40

Intervali stabilnosti za kriterijume čije su težine dodijeljene od strane organizacija za zaštitu životne sredine su najmanji za kriterijume predviđena godišnja proizvodnja, troškovi projekta i društvena prihvatljivost projekta.

5.3.4 Smjernice za dalji razvoj projekata malih hidroelektrana

Predstavljeni model analize daje mogućnost da se korištenjem metoda multikriterijumske analize na jednostavan način porede različiti projekti malih hidroelektrana. Definisani model je, takođe, omogućio da se na pregledan i jednostavan način omogući agregacija kvantitativnih i kvalitativnih kriterijuma. Na taj način definisani model ima mogućnost da dobro opiše definisani problem. Ipak multikriterijumska analiza je alat koji pomaže u donošenju odluka čija je korisnost uslovljena raspoloživim podacima kojima se vrednuju projekti po datim kriterijumima.

Razvijeni model, takođe, smanjuje pritisak na prirodne resurse na način smanjenja nepoželjnih ekoloških posledica, ali i smanjenja troškova ekološkog menadžmenta, kao rezultata socijalne i ekološke održivosti. Na taj način se ostvaruje i razvoj energetike kao oblasti privrede koja predstavlja osnovu za razvoj svih drugih oblasti privrede bez čije zaštite nije moguće ostvariti održivi razvoj.

Analizom intervala stabilnosti kriterijuma jasno se vidi sa su najmanji intervali stabilnosti vezani za kriterijume troškovi projekta, društvena prihvatljivost projekta, uticaj na eko-sistem i instalisani protok. Stoga bi se dalja istraživanja mogla bazirati upravo na detaljnijoj analizi ovih parametara:

- ◆ Projekti malih hidroelektrana na području Balkana nalaze se na malim vodotocima izuzetnih ekoloških vrijednosti (Sekulić, Đorđević, 2014). Odredba o ekološki prihvatljivom protoku je veoma važan aspekt na koji bi se trebala obratiti posebna pažnja prilikom planiranja projekata malih hidroelektrana. Stoga je potrebno uraditi posebna istraživanja kojima bi se dale potrebne podloge za realnije analize moguće proizvodnje projekata malih hidroelektrana, projekata kod kojih je ovaj problem posebno naglašen (Sekulić, Đorđević, 2014). Detaljna analiza ekološki prihvatljivog protoka je veoma važna za održiv eko-sistem i on bi se morao detaljno izračunati za najbolje rangirane lokacije primjenom metoda koje se mogu primjeniti na rijeke u Republici Srpskoj, odnosno Bosni i Hercegovini.

- ◆ Za projekte koji su bolje ranigrani potrebno je uraditi dinamičku analizu troškova. Ona zahtijeva da projekat bude opisan i u smislu njegove implementacije i u smislu rada. Na ovaj način se omogućava da različiti operativni troškovi i efekti izgradnje budu razmatrani.

6. Završne napomene i zaključci

Jedan od osnovnih koncepata ekonomike prirodnih resursa svakako predstavlja koncept održivosti. Nepoštovanje ovog koncepta dovodi do neefikasnog privrednog razvoja u smislu rasipanja resursa i energije, odnosno dugoročnog pogoršanja odnosa između rastućih potreba čovječanstava i ograničenosti resursa. S tim u vezi podsticanje i unapređenje hidroenergetike kao, ne samo obnovljivog, već i pouzdanog i ekonomski prihvatljivog izvora energije, predstavlja bitan korak za globalnu sigurnost.

Vodeći se činjenicom da je osnovni cilj koncepta održivog razvoja društva prevazilaženje nedostataka prethodnih modela razvoja, prije svega zapostavljanja pitanja zaštite životne sredine i društvene prihvatljivosti projekata, kao i orijentacija tehnoloških i institucionalnih promjena na način osiguranja zadovoljenja ljudskih potreba kako u sadašnjosti tako i u budućnosti glavni predmet proučavanja je izrada modela u procesima planiranja i rada malih hidroelektrana, zvanog na multikriterijumskoj analizi.

Posmatrajući projekte malih hidroelektrana kao ekološki prihvatljive, ali i razumijevajući potrebe svih zainteresovanih strana kao nosioca odluka u procesu odlučivanja proces planiranja izradnje malih hidroelektrana se mora razvijati u skladu sa održivim razvojem kako bi se postigla održivost u ekonomskom razvoju, ali i jačanje socijalne prihvatljivosti projekata i kvaliteta životne sredine.

Međutim, razvoj projekata malih hidroelektrana nudi i brojne izazove i pritiske od procesa projektovanja do distribucije dobijene energije. To dovodi do zaključka da je potrebno izgraditi integralni pristup korišćenju energije malih vodotokova. To zahtijeva upravljanje vodama na način uključivanja svih zainteresovanih strana u proces odlučivanja, i to na način koji je ekološki, i društveno odgovoran, i ekonomski efikasan, tako da hidroenergetski projekti doprinose postizanju održive energije i razvoj resursa (*IHA - International Hydropower Association, 2003*).

Modeliranje procesa planiranja i rada malih hidroelektrana omogućava adekvatnu analizu svih uticajnih parametara kao i njihovo bolje funkcionisanje u uslovima velikih promjena. Iako male hidroelektrane, kao jedan od alternativnih izvora energije, imaju brojne prednosti u odnosu na neobnovljive izvore energije, razvoj hidroenergetskih postrojenja nudi i brojne izazove i pritiske, kako od strane grupa za zaštitu životne sredine, tako i od strane društvene zajednice i investitora. Prema tome, planiranje razvoja projekata malih hidroelektrana treba da obuhvati veliki broj parametara. Ukoliko se svi uticajni paramteri adekvatno vrednuju ovakvi projekti će stvoriti uslove za održivih projekata što ima za cilj maksimiziranje efikasnosti u sve u cilju uvažavanja ne samo ekonomske već i komponente zaštite životne sredine.

U modelu koji je koncipiran u ovom radu kao najvažniji kriterijumi vrednovanja projekata navedeni su:

- ◆ instalisana snaga,
- ◆ instalisani protok,
- ◆ predviđena godišnja proizvodnja energije,
- ◆ troškovi projekta,
- ◆ društvena prihvatljivost projekta,
- ◆ dužina dalekovoda,
- ◆ LCOE,
- ◆ sigurnost investicije,
- ◆ zakonska ograničenja,
- ◆ način obezbjeđenja protoka i
- ◆ uticaj na eko-sistem.

U cilju određivanja značaja pojedinih parametara u procesu donošenja odluka, urađeno je istraživanje četiri grupe ispitanika: investitori, država, organizacije za zaštitu životne sredine i akademske institucije. Na osnovu rezultata istraživanja, dobijene su težine pojedinih parametara primjenom AHP metode.

Uočava se dosta velika disperznost u očekivanjima i potrebama ispitanika:

- ◆ Država kao najvažnije kriterijume ocjenjuje zakonska ograničenja (26,12%), nakon čega slijede način obezbjeđenja protoka (26,12%) i sigurnost investicije (25,23%) dok se kao najmanje bitan navodi kriterijum troškovi projekta (2,59%).
- ◆ Investitori kao najbitnije kriterijume takođe navode zakonska ograničenja (36,65%), nakon čega slijedi sigurnost investicije (19,10%), dok se najmanji značaj daje kriterijumu društvena prihvatljivost projekta (2,11%).
- ◆ Akademske institucije kao najbitnije navode kriterijume sigurnost investicije (23,84%) i način obezbjeđenja protoka (20,46%) a najmanji značaj daju kriterijumu društvena prihvatljivost projekta (5,18%).
- ◆ Organizacije za zaštitu životne sredine kao najbitnije kriterijum navode sigurnost investicije (21,38%) i način obezbjeđenja protoka (14,67%),

što ukazuje na veliku složenost procesa planiranja projekata malih hidroelektrana i zahtjeva da se prilikom procesa planiranja velika pažnja treba posvetiti parametrima koji su definisani kao najznačajniji (sigurnost investicije, način obezbjeđenja protoka i zakonska ograničenja).

Najviše razlike u dodjeljenim težinama mogu se primjetiti kod kriterijuma zakonska ograničenja: investitori (36,65%), vlada (26,12%), akademske institucije (14,51%) i organizacije za zaštitu životne sredine (11,47%), dok su najmanja odstupanja dodijeljenih težina za kriterijume sigurnost investicije i društvena prihvatljivost projekta.

Utvrđivanje i planiranje projekata malih hidroelektrana u cilju spoznaje prednosti i nedostataka pojedinih projektnih rješenja, izvršeno je na primjeru Republike Srpske, odnosno sliva rijeke Vrbas. Istraživanje je vršeno korištenjem Promethee metode multikriterijumskog odlučivanja (*eng. Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*).

Prednosti i nedostaci pojedinih projekata su razmatrani u kontekstu rezultata koji su dobijeni na osnovu vrijednosti poređenja definisanih kriterijuma. Najbolje rangirani projekti su: Podmilačje, Delibašino selo i Glavica. U pitanju su male hidroelektrane pribranskog tipa sa betonskom branom koje nemaju zapreminu za regulaciju protoka. Vidljivo je da su u pitanju oni projekti koji utiču na povećanje proizvodnje energije iz obnovljivih izvora energije (njihovom izgradnjom bi se omogućila godišnja proizvodnja od 50,2GWh godišnje) i imaju mali uticaj na društvo, biljni i životinjski svijet, što je u skladu sa održivim razvojem.

Na osnovu analize datog modela može su unaprijediti energetska politika kroz: ostvarenje visokog nivoa transparentnosti u kreiranju energetske politike i njenoj implementaciji; razvoj hidroenergetskih projekata na način poboljšanja koordinacije između sektora energetike, prostornog planiranja, upravljanja vodama i životne sredine i integraciju najboljih projekata i zahtjeva održivosti u procesu planiranja, realizacije i eksploatacije malih hidroelektrana.

Analizom intervala stabilnosti za pojedine kriterijume poređenja može se zaključiti da naširi interval stabilnosti imaju kriterijumi LCOE i sigurnost investicije (u svim slučajevima intervala stabilnosti je 0%-100%), dok su kriterijumi sa najmanjim intervalom stabilnosti troškovi projekta (interval stabilnosti se kreće od 2,53%-2,63% do 11,34%-11,69%), društvena prihvatljivost projekta (od 5,15%-5,29% do 9,33%-9,71%) i instalisani protok (2,4%-2,57% do 0,01%-3,55%).

Na bazi svih rezultata dobijenih primjenom datog modela na primjeru sliva rijeke Vrbas, može se zaključiti da su potvrđene hipoteze H_1 i H_2 što potvrđuje i osnovnu hipotezu u radu: da je predloženi model zasnovan na multikriterijumskoj analizi pogodan za procese planiranja i rada malih hidroelektrana.

Literatura

Abbasi T, Abbasi S A (2011). *Small hydro and the environmental implications of its extensive utilization*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, pp. 2134-2143.

Abebe N (2014). *Feasibility Study of Small Hydropower Schemes in Giba and Worie Subbasins of Tekeze River, Ethiopia*. Journal of Energy Technologies and Policy, Vol.4, No.8.

Agarski B (2014). *Razvoj sistema za inteligentnu višekriterijumsku procenu opterećenja životne sredine kod ocenjivanja životnog ciklusa proizvoda i procesa, doktorska disertacija*. Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.

Akella A K, Saini R P, Sharma M P (2009). *Social, economical and environmental impacts of renewable energy systems*. Renewable Energy 34, pp. 390 - 396.

Alonso H A, Lamata T (2006). *Consistency in the Analytic Hierarchy Process: A New Approach*. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, Vol. 14, No. 4, pp. 445–459

Baidya G (2006). *Development of small hydro*. Himalayan Small Hydropower Summit, Dehradun.

Balat M (2006). *Hydropower Systems and Hydropower Potential in the European Union Countries*. Energy Sources, Part A, pp. 965–978.

Bardhi A, Breneshi M, Pjetri A (2014). *Impact of Small Hydropower Plant on Improvement of Voltage Level and Energy Efficiencies*. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering Vol. 3, Issue 11, pp. 12825 – 12832.

Behzadian M, Kazemzadeh R B, Albadvi A, Aghdasi M (2010). *Promethee: A comprehensive literature review on methodologies and applications*. European Journal of Operational Research, Volume 200, Issue 1, pp. 198-215.

Brans J P, Vincke Ph, (1985). *Note-A Preference Ranking Organisation Method*. Management Science 31(6), pp. 647-656

Brans J P, Vincke Ph, Mareschal B (1986). *How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method*. European Journal of Operational Research 24, pp. 228-238.

Bratanova A (2015). *Multiple criteria analysis of policy alternatives to improve energy efficiency in industry in Russia*, Doctoral dissertation, IESE Business School.

Brito T B, Silva R C, Trevisan E F and Botter R C (2012). *Discrete Event Simulation Combined with Multiple Criteria Decision Analysis as a Decision Support Methodology in Complex Logistics Systems*, Discrete Event Simulations - Development and Applications, Eldin Wee Chuan Lim (Ed.), Available from: <http://www.intechopen.com/books/discrete-event-simulations-development-and-applications/discrete-event-simulation-combined-with-multiple-criteria-decision-analysis-as-a-decision-support-me>

Brnabić A, Turković M (2015). *Razmatranje energetske politike u oblasti obnovljivih izvora energije, putokaz za razvoj obnovljivih izvora energije u Srbiji i okruženju*. Centar za međunarodnu saradnju i održivi razvoj (CIRSD).

Carapellucci R, Giordano L, Pierguidi F, (2015). *Techno-economic evaluation of small hydro power plants: modelling and characterisation of the Abruzzo region in Italy*. Renew Energy 75, pp. 395-406

Cavallaro F (2005). *An integrated multi-criteria system to assess sustainable energy options: an application of the PROMETHEE method*. FEEM working paper No. 22.05.

Cormio C, Dicorato M, Minoia A, Trovato M (2003). *A regional energy planning methodology including renewable energy sources and environmental constraints*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 7, pp. 99–130.

Dagdeviren M, (2008). Decision making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Volume 19, Issue 4, pp. 397-406.

Daim T, et al. (eds.) (2013). *Research and Technology Management in the Electricity Industry, Green Energy and Technology*, DOI: 10.1007/978-1-4471-5097-8, Springer-Verlag London.

Demirtas O, (2013). *Evaluating the Best Renewable Energy Technology for Sustainable Energy Planning*. *International Journal of Energy Economics and Policy* Vol. 3, Special Issue, ISSN: 2146-4553, pp.23-33.

Draginić J, Maković V, (2013). *Kombinovanje metoda AHP i Promethee pri izboru najpogodnijeg rešenja oblaganja kanala za navodnjavanje*. *Vodoprivreda* 0350-0519, 45 264-266, pp. 275-280.

Državna regulatorna komisija za električnu energiju, <http://www.derk.ba/ba/ees-bih/karta-ees>

Đorđević B, (1981). *Korišćenje vodnih snaga. Osnove Hidroenergetskog korišćenja voda*. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.

Đorđević B, (1981). *Korišćenje vodnih snaga: osnove hidroenergetskog korišćenja voda*. Građevinski fakultet Beograd.

Đorđević B, (1984). *Korišćenje vodnih snaga. Objekti hidroelektrana*. Građevinski fakultet Beograd, Beograd.

Đorđević B, (2001). *Hidroenergetsko korišćenje voda*. Građevinski fakultet, Beograd.

Đorđević B, (2001). *Hidroenergetsko korišćenje voda*. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.

Đorđević B, Dašić T (2011). *Određivanje potrebnih protoka nizvodno od brana i rečnih vodozahvata*. *Vodoprivreda* 0350-0519, 43, 252-254, pp. 151-164.

Đorđević B, Grujović N, Divac D (2004). *Optimizacija i estimacija pri planiranju i upravljanju u sistemu Drine*. *Vodoprivreda* 0350-0519, 36 207-208 pp. 187-201.

Đurić M, Đurišić Ž, Čukarić A, Ilić V (2010). *Elektrane*. Beopres, Beograd.

Elektroprivreda Republike Srpske, <http://www.ers.ba/>

Energoprojekt-Hidroinženjering. Institute 'Jaroslav Černi' (2008). *Concept design and preliminary feasibility study. Utilization of hydro potential of the Drinas's and Sutjeska's upper flows on the territory of Republic Srpska (in Serbian)*. Belgrade.

Evans A, Vladimir S V, Evans T. J. (2009). *Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13(5) pp.1082 - 1088.

Fernández N G (2013). The management of missing values in PROMETHEE methods. Ecole Polytechnique de Bruxelles.

Figueira J, Greco S, Ehrgott M (2005). *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*. Kluwer Academic Publishers.

Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant. European Small Hydropower Association – ESHA, dostupno na: esha@arcadis.be

Gvozdenac D, Nakomčić-Smaragdakis B N, Gvozdenac-Urošević B (2010). *Obnovljivi izvori energije*. Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.

Haralambopoulos D A, Polatidis H (2003). *Renewable energy projects: structuring a multicriteria group decision-making framework*. Renewable Energy 28, pp. 961–973.

Hayez Q, Smet Y D, Bonney J (2011). *D-Sight: A New Decision Support System to Address Multi-Criteria Problems*. CoDE-SMG, Universite Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium.

Hot I (2014). *Upravljanje izradom generalnih projekata u oblasti infrastrukture primenom višekriterijumske analize*. Doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka.

Hunjak T (1997). *Mathematical foundations of the methods for multicriterial decision making*. Mathematical Communications 2. pp. 161-169.

Integralna vodno-energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas. Modul 2 Hidroenergetski razvoj (2013). Dostupno na: <http://www.wb->

vrbasstudy.com/tl_files/Documents/Modul%202-Hidroenergetski%20razvoj-Konacna%20verzija,%20sa%20Prilozima.pdf

Integralna vodno-energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas. Modul 1 Hidroenergetski razvoj (2013). Dostupno na: http://www.wb-vrbasstudy.com/tl_files/Documents/Modul%201-Vodni%20resursi-Konacna%20verzija,%20sa%20Prilozima.pdf

Integralna vodno-energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas. Modul 3 Hidroenergetski razvoj (2013). Dostupno na: http://www.wb-vrbasstudy.com/tl_files/Documents/Modul%203-Integralno%20upravljanje%20vodnim%20resursima-Konacna%20verzija%20sa%20Prilozima.pdf

Ishizaka A, Nemery P (2013). *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software*, First Edition. John Wiley & Sons, Ltd.

Jansson R, Nilsson C, Dynesius M, Andersson E (2000). *Effects of river regulation on river-margin vegetation: a comparison of eight boreal rivers*. Ecological Applications, 10(1) pp. 203-224.

Kaygusuz K (2009). *The Role of Hydropower for Sustainable Energy Development*. Energy Sources, Part B, 4, pp. 365–376.

Khan R (2014). *Small Hydro Power in India: Is it a sustainable business?* Apply Energy, dostupno na: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.11.063>

Khan R (2014). *Small Hydro Power in India: Is it a sustainable business?* Apply Energy, dostupno na: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.11.063>.

Kiker G A, Bridges T S, Varghese A, Seager T P, Linkovjj I (2005). *Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making*. Integrated Environmental Assessment and Management - Volume 1, Number 2, pp. 95–108.

Klanac J, Perkov J, Krajnović A (2013). *Primjena AHP i Promethee metode na problem diverzifikacije*. Oeconomica Jadertina 2/2013.

- Knusten L H, Holand R (2010). *Investment Strategy for Small Hydropower Generation Plants in Norway*. Department of International Economics and Management.
- Kovačić B (2004). *Višekriterijsko odlučivanje u prometu*. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb.
- Kozar A, Livnjak E (2015). *Potencijal i aspekti ekonomičnosti malih hidroelektrana u Bosni i Hercegovini*. Infoteh-Jahorina Vol. 14, pp. 854-858.
- Labudović B (2002). *Obnovljivi izvor energije*, Energetika marketing, Zagreb, pp. 809.
- Livnjak E, Kozar A (2015). *Male hidroelektrane u Bosni i Hercegovini – rizici implementacije i aspekti sigurnosti*. Infoteh-Jahorina Vol. 14, pp. 859 – 863.
- Loken E (2007). *Multi-Criteria Planning of Local Energy Systems with Multiple Energy Carriers*. Norwegian University of Science and Technology Faculty of Information Technology, Mathematics and Electrical Engineering Department of Electric Power Engineering.
- Loken E (2007). *Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 11, pp. 1584-1595.
- Macharis C, Brans J P (1998). *The GDSS Promethee Procedure*. Journal of Decision Systems. Volume 7-SI/1998, pp. 283-307.
- Macharis C, Springael J, Brucker K, Verbeke A (2004). *A PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis. Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP*. European Journal of Operational Research 153, pp. 307–317.
- Manual for Feasibility study on micro/small hydropower development* (2010). Department of Economic Affairs, Royal Government of Bhutan, Japan International Cooperation Agency.
- Marinković G (2015). *Prilog razvoju metodologije optimizacije radova i tačnosti u projektima komasacije*. Fakultet tehničkih nauka, Novi sad.

Mateljan T (2003). *Operaciona istraživanja*, Skripta za studente postdiplomskog studija na Elektrotehničkom fakultetu Sarajevo, Odsjek za računarstvo i informatiku, Sarajevo.

Mateo J R S C (2012). *Multi-Criteria Analysis in the Renewable Energy Industry*. London: Springer-Verlag.

Mihajlović M (1985). *Hidrograđevinske i elektro smernice za projektovanje i izgradnju male hidroelektrane*. RO Hidroprojekt, OOUR Vodopriveda.

Mihajlović M (1985). *Male hidroelktrane. Projektovanje izgradnja*. RO Hidroprojekat OOUR Vodopriveda. Beograd.

Milićević R M, Župac Ž G (2012). *Objektivni pristup određivanju težina kriterijuma*. Vojnotehnički glasnik/Military Tehnical Courier. Vol. LX, No 1, pp. 39-56.

Milićević R M, Župac Ž G (2012). *Subjektivni pristup određivanju težina kriterijuma*. Vojnotehnički glasnik/Military Tehnical Courier. Vol. LX, No 2, pp. 48-70.

Milojević M, i dr. (2009). *Ekskvizicija i tretman izmerenih parametara vodotokova u predprojektu mini hidroelektrane*. Istraživanja i projektovanja za privredu 25-2009.

Milovanović Z et al (2011). *Optimizacija izbora koncepcije postrojenja male hidroelektrane na unaprijed utvrđenoj makrolokaciji metodom višekriterijalnog rangiranja - MHE Sućeska instalisane snage 2x1,015 MW*. Arhiv za tehničke nauke, 5(1), str. 9-18.

Milovanović Z N, Milovanović S (2015). *Algoritam postupka optimizacije izbora lokacije novih termoenergetskih postrojenja (TEP) i energetska efikasnost*. Naučno-stručni simpozijum Energetska efikasnost, ENEF 2015, Banja Luka, str. 95-104.

Milovanović Z. et al (2011). *Optimizacija izbora koncepcije postrojenja male hidroelektrane na unaprijed utvrđenoj makrolokaciji metodom višekriterijalnog rangiranja - MHE Sućeska instalisane snage 2x1, 015 MW*. Arhiv za tehničke nauke 5(1), str. 9-18.

Miljanović M (2015). *Model izgradnje brenda kao odrednice privrednog razvoja*, doktorska disertacija. Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.

Mishra S, Singal S K, and Khatod D K (2012). *Costing of a Small Hydropower Projects*. IACSIT International Journal of Engineering and Technology, Vol. 4, No. 3, pp. 239-242.

Mishra S, Singal S K, Khatod D K (2011). *Optimal installation of small hydropower plant - A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 pp. 3862 - 3869.

Mladineo N, Margeta J, Brans J P, Marshal B (1987). *Multicriteria ranking of alternative locations for small scale hydro plants*. European Journal of Operational Research 31, pp. 215-222.

Mourmouris J C, Potolias C (2013). *A multi-criteria methodology for energy planning and developing renewable energy sources at a regional level: A case study Thassos, Greece*. Energy Policy 52, pp. 522–530.

Mourmouris J C, Potolias C (2013). *A multi-criteria methodology for energy planning and developing renewable energy sources at a regional level: A case study Thassos, Greece*. Energy Policy 52, pp. 522–530.

Nautiyal H, Singal S K, Varuna A S (2011). *Small hydropower for sustainable energy development in India*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, pp. 2021 - 2027.

Nikolić I i Borović S (1996). Višekriterijumska optimizacija. CVŠ VJ.

Orašanin G (2015). *Komparativna analiza metoda višekriterijumske optimizacije u primjeni na vodovodne sisteme*, doktorska disertacija. Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Mašinski fakultet

Ostojic G, Stankovski S, Ratkovic Z, Miladinovic Lj, Maksimovic R (2013). *Development of hydro potential in Republic Srpska*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 28, pp.196-203.

Pavlović T, Milosavljević D, Mirjanić D (2013). *Obnovljivi izvori energije*. Akademija nauke i umjetnosti Repulike Srpske. Banja Luka.

Pinho P, Maia R, Monterroso A (2007). *The quality of Portuguese Environmental Impact Studies: The case of small hydropower projects*. Environmental Impact Assessment Review 27, pp. 189–205.

Pohekar S D, Ramachandran M (2004). *Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning – A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 8, pp. 365-381.

Polatidis H, Haralambopoulos D A, Munda G, Vreeker R (2006). *Selecting an Appropriate Multi-Criteria Decision Analysis Technique for Renewable Energy Planning*, Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 1:2, 181-193.

Pomerol J C, Barba-Romero S (2000). *Multicriterion Decision in Management: Principles and Practice*, Kluwer Academic Publisher Group.

Popović M, Alilović N. (2012). *Preliminarna hidrološka analiza oticanja rijeke Slatine i proračun njenog bruto energetskeg potencijala*. Hidrometeorološki zavod Crne Gore. Hidrološki Sektor.

Prakash R V, Bhat I K (2009). *Energy, economics and environmental impacts of renewable energy systems*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13(9) pp. 2716 - 3272.

Prasad R D, Bansa R C, Raturi A (2014). *Multi-faceted energy planning: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 38, pp. 686–699.

Priyabrata A et al (2014). *MCDM or MCDA Based Selection of Transmission Line Conductor: Small Hydropower Project Planning and Development*. Int. Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 4, Issue 2, pp.357-361.

Priyabrata A et al. (2014). *Small hydropower project: Standard practice*. International Journal of Engineering Science&Advanced Technology, Volume 4, pp. 241- 247.

Prohaska S (2002). *Hidrologija kroz teoriju i praksu*, Univerzitet u Beogradu, Beograd.

Prohaska S J (2003). *Hidrologija - I deo, hidro-meteorologija, hidrometrija i vodni režim*. Rudarsko-geološki fakultet Beograd, Beograd.

Prohaska S J (2003). *Hidrologija - II deo, hidrološko prognoziranje, modelovanje i praktična primena*. Rudarsko-geološki fakultet Beograd, Beograd.

Prvulović S, Tolmač D, Živković Ž, Radovanović Lj (2008). *Criteria decision in the choice of advertising tools*. Mechanical Engineering Vol. 6, No1, 2008, pp. 91 – 100.

Ratković Ž, Stankovski S (2003). *Prilog razvoju ekspertnog sistema za izbor male hidroelektrane*. Infoteh-Jahorina, Vol. 3, pp. 199-203.

Ravita D, Prasad R C, Bansa A R (2014). *Multi-faceted energy planning: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 38, pp. 686–699.

Regulatorna komisija za energetiku Republike Srpske, <http://www.reers.ba/>

Roljić L, Landika M, Mikić Đ (2013). *Optimizacija, simulacija, metode pretraživanja i teorija igara u ekonomiji i menadžmentu*. Časopis za ekonomiju i tržišne komunikacije, Vol. 3, No.1, pp. 123-141.

Sachdev H S, Akella A K, Kumar N (2015). *Analysis and evaluation of small hydropower plants: A bibliographical survey*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 51, pp. 1013-1022.

Sarala P A (2009). *Economic Analysis and Application of Small Micro/Hydro Power Plants*. International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPPQ'09), Valencia (Spain).

Sato Y (2003). *Questionnaire design for survey research: employing weighting method*, ISAHP 2005, Honolulu, Hawaii.

Sekulić G, Đorđević B (2014). *Istraživanje neravnomernosti vodnih režima kao bitan preduslov za realizaciju malih hidroelektrana, na primeru Crne Gore*. Vodoprivreda 0350-0519, 46 267-272, pp. 89-100.

Singal S K (2009). *Planning and Implementation of Small Hydropower (SHP) Projects*. Hydro Nepal Issue No. 5, pp. 21 – 25.

Singal S K (2010). *Planning and Implementation of Small Hydropower (SHP) Projects*. Hydro Nepal: Journal of Water, Energy and Environment, [S.l.], v. 5, p. 21-25, Available at: <<http://www.nepjol.info/index.php/HN/article/view/2480>>, Date accessed: 16 Mar. 2016. doi:<http://dx.doi.org/10.3126/hn.v5i0.2480>.

Smet Y, Lidouh K (2013). *An Introduction to Multicriteria Decision Aid: The PROMETHEE and GAIA Methods*, Business Intelligence, Lecture Notes in Business Information Processing Volume 138, pp. 150-176.

Srđević B, Jandrić Z. (2000). Analitički hijerarhijski proces u strateškom gazdovanju šumama. Studija radjena za J.P. Srbijašume, Sumsko gazdinstvo 'Novi Sad'.

Srinivasa K, Raju M (2009). *Multicriterion decision making: a brief overview*, ISH Journal of Hydraulic Engineering, 15:sup1, pp. 129-150

Stein E W (2013). *A comprehensive multi-criteria model to rank electric energy production technologies*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 22, pp. 640–654.

Stevović M S et al (2010). *New Methodological Approach in Techno-Economic and Environmental Optimization of Sustainable Energy Production*. Thermal Science. Vol. 14, No. 3, pp. 809-819.

Stevović S (2005). *Značaj i namena malih hidroelektrana i malih akumulacija*. Vodoprivreda 0350-0519, 37 216-218, pp. 299-304

Stevović S (2006). *Ekološki menadžment u hidroenergetici*. Zadužbina Andrijević, Beograd.

Stevović S M, Milovanović Z D, Milajić A V (2010). *New methodological approach in Techno-economic and environmental optimization of Sustainable energy production*. Thermal Science, Vol. 14, No. 3, pp. 809-819.

Stevović S, Milovanović Z, Stamatović M (2015). *Sustainable model of hydropower development - Drina river case study*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 50 pp. 363–371.

Stojanović M (2013). *Multi-criteria decision-making for selection of renewable energy systems*. Safety eneenering. UDC 543.05:633.71, DOI: 10.7562/SE2013.3.02.02, pp. 115-120.

Stojić P (1995). *Hidroenergetika. Energetsko iskorištavanje vodenih snaga*. Građevinski fakultet sveučilišta u Splitu, Split.

Strategija razvoja energetike Republike Srpske do 2030. godine. (2010). Banja Luka. Dostupno na: <http://www.vladars.net/>

Streimikiene D et al. (2012). *Prioritizing sustainable electricity production technologies: MCDM approach*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 pp. 3302 - 3311

Supriyasilp T, Pongput K and Boonyasirikul T. (2009). *Hydropower development priority using MCD Method*, Energy Policy 37, pp. 1866 - 1875.

Sustainable Design and Manufacturing 2014, Part 1. Edited by: Setchi R, Howlett R J, Naim M, Seinz H. Future Techology Press, 2014.

Škuletić S (2006). *Elektrane*. Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnički fakultet - Podgorica, Edicija ETF Udžbenici.

Šporčić M, Landekić M, Lovrić M, Bogdan S, Šegotić K (2010). *Višekriterijsko odlučivanje kao podrška u gospodarenju šumama – modeli i iskustva*. Šumarski list br. 5-6, 275-286.

Topalović T, Milišić V, Plavšić J (2012). *Hidrološko modeliranje sliva rijeke Vrbas za izradu vodno-energetske studije*. 16. savjetovanje SDHI i SDH. Donji Milanovac, str. 675-689.

Troldborg et al (2014). *Assessing the sustainability of renewable energy technologies using multi-criteria analysis: Suitability of approach for national-scale assessments and associated uncertainties*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 39, pp.1173 - 1184.

Tsoutsos T et al. (2009). *Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete*. Energy Policy 37, pp. 1587-1600.

- Vego G, Kučar-Dragičević S, Koprivanac N (2008). *Application of multi-criteria decision-making on strategic municipal solid waste management in Dalmatia, Croatia*. Waste Management 28, pp. 2192–2201.
- Velasquez M, Hester P T (2013). *An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods*. International Journal of Operations Research Vol. 10, No. 2, pp. 56-66.
- Vincke Ph (1992). *Multicriteria Decision-Aid*, John Wiley & Sons, Chichester.
- Visual PROMETHEE 1.4 Manual (2013). Dostupno na: <http://www.promethee-gaia.net/files/VPManual.pdf>
- Vujošević I (2005). *Eksploatacija i planiranje elektroenergetskih sistema*. Elektrotehnički Fakultet – Podgorica, Podgorica.
- Vukčević M (2007). *Inženjerska ekonomija*. Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet, Podgorica.
- Waisurasingha C, Chindapasirt P, Sri-Amporn W, Chuangcham S (2012). *The utilization of geographic information systems and multi-criteria decision making with local community participation for selection of site for micro hydropower project: A case study of Chi river Basin, Thailand*, 33rd Asian Conference on Remote Sensing, ACRS 2012, pp. 1201-1205.
- Wang J, Jing Y, Zhang C and Zhao J (2009). *Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, pp. 2263 - 2278.
- Yüksek Ö, Kaygusuz K (2006). *Small Hydropower Plants as a New and Renewable Energy Source*, Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 1:3, pp. 279-290
- Yüksel I (2007). *Development of Hydropower: A Case Study in Developing Countries*. Energy Sources, Part B, pp. 113–121.
- Zema D A, Nicotra A, Tamburino V, Zimbone S M (2016). *A simple method to evaluate the technical and economic feasibility of micro hydro power plants in existing irrigation systems*. Renewable Energy 85, pp. 498 – 506.

Zhang Q F, Smith B, Zhang W (2012). *Small Hydropower Cost Reference Model, Final Project Report*, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy.

Prilozi

Prilog 1 Upitnik o uticajnim faktorima na proces planiranja i rada malih hidroelektrana

Upitnik o uticajnim faktorima na proces planiranja i rada malih hidroelektrana

Poštovani,

Trenutno radimo istraživanje o uticajnim parametrima u procesu planiranja i rada malih hidroelektrana.

Cilj istraživanja je razvoj modela koji bi podrazumjevao multikriterijumski pristup za proces planiranja i rada malih hidroelektrana. Modelom bi se analizirale prednosti i nedostaci odabranih lokacija s obzirom na: tehnički aspekt, ekološki aspekt i socio ekonomski aspekt.

Jedan od ključnih koraka izrade modela je dodjeljivanje težina kriterijumima (parametrima). Težine se dodjeljuju sa ciljem da se označi značaj kriterijuma u odnosu na dati cilj.

Upitnik je namjenjen stručnjacima iz oblasti energetike, projektovanja malih hidroelektrana, i zaštite životne sredine kao i predstavnicima zainteresovanih strana za proces izgradnje malih hidroelektrana.

Na osnovu rezultata upitnika će se vršiti dodjeljivanje težina kriterijumima za proces multikriterijumske analize.

Autor:

Mr Budimirka Marinović

Uputstvo za popunjavanje upitnika

Upitnik se odnosi na poređenje relativnog značaja kriterijuma za proces multikriterijumske analize.

Molimo Vas da uporedite svaki od naznačenih kriterijuma na taj način što ćete označiti broj (u okviru istog reda) za koji smatrate da je najbolji po Vašem mišljenju, pri čemu broj 1 ima značenje „podjednako bitno“, 3 „umjereno bitno“, 5 „veoma bitno“, 7 „izrazito bitno“ i 9 „isključivo bitno“, dok preostali brojevi 2, 4, 6 i 8 predstavljaju nijansirane vrijednosti između ovih vrijednosti.

Recimo ukoliko su **A** i **B** ponuđene veličine sa lijeve i desne strane, a Vi smatrate da A umjereno bitno u odnosu na B, zaokružićete broj 3 sa lijeve strane (na kojoj je kriterijum A).

Hvala Vam na vremenu izdvojenom za popunjavanje upitnika

UPITNIK

<p>Način na koji se obezbjeđuje protok za lokaciju (ukazuje na mogućnost izgradnje objekta u ekološkom smislu: da li na lokaciji već postoji određena infrastruktura, da li je lokacija definisana u vodoprivednom planu i sl.)</p>	<p>9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9</p>	<p>Instalisana snaga</p>
<p>Instalisana snaga</p>	<p>9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9</p>	<p>Zakonska ograničenja</p>
<p>Način na koji se obezbjeđuje protok za lokaciju (ukazuje na mogućnost izgradnje objekta u ekološkom smislu: da li na lokaciji već postoji određena infrastruktura, da li je lokacija definisana u vodoprivednom planu i sl.)</p>	<p>9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9</p>	<p>Predviđena godišnja proizvodnja</p>
<p>Zakonska ograničenja</p>	<p>9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9</p>	<p>Troškovi projekta</p>
<p>Način na koji se obezbjeđuje protok za lokaciju (ukazuje na mogućnost izgradnje objekta u ekološkom smislu: da li na lokaciji već postoji određena infrastruktura, da li je lokacija definisana u vodoprivednom planu i sl.)</p>	<p>9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9</p>	<p>Trošovi projekta</p>
<p>Sigurnost ivnesticije (fizička sigurnost što podrazumijeva da li moguća pojava klizišta ili tektonskih pomjeranja i političku sigurnost u smislu mogućih sukoba u datoj oblasti)</p>	<p>9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9</p>	<p>Troškovi projekta</p>
<p>Predviđena godišnja proizvodnja</p>	<p>9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9</p>	<p>Zakonska ograničenja</p>

Instalisana snaga	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Troškovi projekta
Zakonska ograničenja	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Sigurnost investicije (fizička sigurnost što podrazumijeva da li je moguća pojava klizišta ili tektonskih pomjeranja i politička sigurnost u smislu mogućih sukoba u datoj oblasti)
Način na koji se obezbjeđuje protok za lokaciju (ukazuje na mogućnost izgradnje objekta u ekološkom smislu: da li na lokaciji već postoji određena infrastruktura, da li je lokacija definisana u vodoprivednom planu i sl.)	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Zakonska ograničenja
Način na koji se obezbjeđuje protok za lokaciju (ukazuje na mogućnost izgradnje objekta u ekološkom smislu: da li na lokaciji već postoji određena infrastruktura, da li je lokacija definisana u vodoprivednom planu i sl.)	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Sigurnost investicije (fizička sigurnost što podrazumijeva da li je moguća pojava klizišta ili tektonskih pomjeranja i politička sigurnost u smislu mogućih sukoba u datoj oblasti)
Instalisana snaga	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Sigurnost investicije (fizička sigurnost što podrazumijeva da li je moguća pojava klizišta ili tektonskih pomjeranja i politička sigurnost u smislu mogućih sukoba u datoj oblasti)
Sigurnost investicije (fizička sigurnost što podrazumijeva da li je moguća pojava klizišta ili tektonskih pomjeranja i politička	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Društvena prihvatljivost projekta (kako je projekat prihvaćen od strane društvene zajednice)

sigurnost u smislu mogućih sukoba u datoj oblasti)		
Instalisana snaga	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Društvena prihvatljivost projekta (kako je projekat prihvaćen od strane društvene zajednice)
Predviđena godišnja proizvodnja	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Troškovi projekta
Predviđena godišnja proizvodnja	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Sigurnost investicije (fizička sigurnost što podrazumijeva da li je moguća pojava klizišta ili tektonskih pomjeranja i politička sigurnost u smislu mogućih sukoba u datoj oblasti)
Zakonska ograničenja	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Društvena prihvatljivost projekta (kako je projekat prihvaćen od strane društvene zajednice)
Predviđena godišnja proizvodnja	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Društvena prihvatljivost projekta (kako je projekat prihvaćen od strane društvene zajednice)
Način na koji se obezbjeđuje protok za lokaciju (ukazuje na mogućnost izgradnje objekta u ekološkom smislu: da li na lokaciji već postoji određena infrastruktura, da li je lokacija definisana u vodoprivednom planu i sl.)	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Društvena prihvatljivost projekta (kako je projekat prihvaćen od strane društvene zajednice)
Predviđena godišnja proizvodnja	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Troškovi projekta

Instalisana snaga	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Predviđena godišnja proizvodnja
--------------------------	-----------------------------------	--